



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

OPTIMALIZACE VĚTRÁNÍ DIVADELNÍ HALY

OPTIMIZING THEATER HALL VENTILATION

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

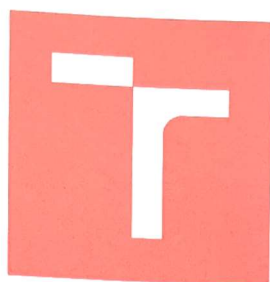
Bc. Marek Lenhart

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Petr Blasinski Ph.D.

BRNO 2018



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3608T001 Pozemní stavby
Pracoviště	Ústav technických zařízení budov

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Marek Lenhart
Název	Optimalizace větrání divadelní haly
Vedoucí práce	Ing. Petr Blasinski, Ph.D.
Datum zadání	31. 3. 2017
Datum odevzdání	12. 1. 2018

V Brně dne 31. 3. 2017

doc. Ing. Jiří Hirš, CSc.
Vedoucí ústavu



prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

1. Stavební dokumentace zadané budovy
2. Aktuální právní předpisy ČR
3. České i zahraniční technické normy
4. Odborná literatura
5. Zdroje na internetu

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

A. Popis stávajícího stavu, analýza tématu a podkladů stavby, stanovení konkrétních cílů a metod řešení.

B. Minimálně 2 varianty optimalizace stávajícího stavu, podpořené CFD simulacemi.

Jednočárové schémata rozvodů VZT systému a chlazení. Hodnocení navržených variant řešení z hlediska vnitřního prostředí, uživatelského komfortu, prostorových nároků, ekonomiky provozu, dopadu na životní prostředí apod.

C. Minimálně 1 varianta v rozpracovanosti rozšířeného projektu pro stavební povolení (půdorysy v měřítku 1:100, stručná technická zpráva).

Práce bude zpracována v souladu s platnými předpisy (zákony a vyhláškami, normami) pro navrhování zařízení techniky staveb.

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).

2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).



Ing. Petr Blasinski, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá teoretickým řešením proudění a optimalizací stávajícího stavu distribuce vzduchu v divadelní hale za pomoci CFD simulací. Součástí diplomové práce je projektové řešení jedné z variant řešení.

KLÍČOVÁ SLOVA

Vzduchotechnika, větrání, proudění, CFD simulace, modelování vnitřního prostředí, rychlostní profily vzduchu, teplota, distribuce vzduchu, divadelní hala.

ABSTRACT

This master's thesis is focuses on flow theory and optimizing current state of air distribution in theater hall by CFD simulations. A part of this thesis is project solution of one variant.

KEYWORDS

Air conditioning, ventilation, flowing, CFD simulations, modeling indoor environment, ratio of air velocity, temperature, air distribution, theater hall.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Bc. Marek Lenhart *Optimalizace větrání divadelní haly*. Brno, 2018. 169 s., 32 s. příl.
Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technických
zařízení budov. Vedoucí práce Ing. Petr Blasinski, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 2. 1. 2018



Bc. Marek Lenhart
autor práce

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu své diplomové práce Ing. Petru Blasinskému Ph.D. za odborné vedení, čas a cenné rady. Vážím si jeho ochoty poradit při zpracovávání práce.

OBSAH

ÚVOD.....	12
1. TEORIE PROUDĚNÍ VZDUCHU.....	14
1.1 Vlastnosti vzduchu	14
1.2 Základy proudění vzduchu	14
1.2.1 Zákony pohybu vzduchu	16
1.2.1.1 Rovnice kontinuity	16
1.2.1.2 Pohybová rovnice	16
1.2.1.3 Energetická rovnice	17
1.2.1.4 Hybnost	18
1.2.1.5 Moment hybnosti	18
1.2.1.6 Potenciální proudění.....	18
1.2.2 Proudění vzduchu vzduchovody	20
1.2.2.1 Nestabilita proudění.....	20
1.2.2.2 Profily proudění	21
1.2.2.3 Střední rychlosti.....	21
1.2.2.4 Tlakové ztráty	22
1.2.2.5 Tlak proudící tekutiny.....	26
1.2.3 Proudění vzduchu ve větraném prostoru a jeho analytické řešení	27
1.2.3.1 Neizotermní volný proud z vyústek	28
1.2.3.2 Vzájemné působení blízkých proudů přiváděného vzduchu.....	33
1.2.3.3 Přilnutí proudu ke stropu (poloohraničený proud)	33
1.2.3.4 Proud vzduchu v uzavřeném prostoru a účinek zpětných proudů	33
1.2.3.5 Radiální proudy	35
1.2.3.6 Neizotermní proudy	35
1.2.3.7 Volné konvekční proudy	38
1.3 Analýza systémů distribuce vzduchu	38
1.3.1 Distribuce shora směrem dolů	38
1.3.2 Distribuce zdola směrem nahoru	39
1.4 Metody řešení proudění vzduchu	40
1.4.1 Analytické	40
1.4.2 Experimentální.....	40

1.4.3	Empirické.....	40
1.4.4	CFD (computational fluid dynamics)	40
2.	MATEMATICKO-FYZIKÁLNÍ ŘEŠENÍ V PROGRAMU STAR CCM+	42
2.1	Vizualizace původního řešení.....	42
2.2	Vytvoření geometrického modelu	43
2.3	Vytvoření výpočetní sítě	44
2.4	Stanovení povrchových teplot	45
2.4.1	Letní období	45
2.4.1.1	Strop	45
2.4.1.2	Podlaha na zemině a symetrická stěna	48
2.4.1.3	Schodnice sedadlových řad	49
2.4.1.4	Souhrn povrchových teplot v hledišti	51
2.4.1.5	Povrchové teploty jeviště.....	51
2.4.1.6	Citelné zisky osob	52
2.4.2	Zimní období.....	52
2.4.2.1	Strop	53
2.4.2.2	Podlaha na zemině a symetrická stěna	54
2.4.2.3	Schodnice sedadlových řad	55
2.4.2.4	Souhrn povrchových teplot v hledišti	57
2.4.2.5	Povrchové teploty jeviště.....	57
2.5	Nastavení fyziky modelu	58
2.5.1	Okrajové podmínky	58
2.6	Vizualizace výsledků	59
2.7	Simulace původního návrhu	60
2.7.1	Popis návrhu.....	60
2.7.2	Stanovení rychlostních profilů výústek	60
2.7.3	Výsledky simulace původního stavu	62
2.7.3.1	Letní období	62
2.7.3.2	Zimní období	64
2.7.4	Vyhodnocení původního stavu.....	66
2.8	Simulace druhé varianty – regulace na různé průtoky	66
2.8.1	Popis návrhu.....	66
2.8.2	Stanovení rychlostních profilů výústek	66

2.8.3	Výsledky simulace druhé varianty	68
2.8.3.1	Letní období	68
2.8.3.2	Zimní období	70
2.8.4	Vyhodnocení druhé varianty	72
2.9	Simulace třetí varianty – dýzy	72
2.9.1	Popis návrhu	72
2.9.2	Stanovení rychlostních profilů výústek	73
2.9.3	Výsledky simulace třetí varianty	74
2.9.3.1	Letní období	74
2.9.3.2	Zimní období	76
2.9.4	Vyhodnocení třetí varianty	78
3.	KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ DIVADELNÍ HALY	80
3.1	Popis řešeného objektu	80
3.2	Tepelná bilance objektu	83
3.2.1	Návrhové parametry	83
3.2.2	Součinitelé prostupu tepla	84
3.2.3	Tepelné ztráty	84
3.2.4	Tepelné zisky	85
3.3	Průtoky vzduchu	94
3.4	Distribuční elementy	97
3.5	Dimenzování potrubí a tlakové ztráty rozvodů	100
3.6	Vzduchotechnické jednotky	113
3.7	Lokální jednotky multi-split	115
3.7.1	Vnitřní jednotky	115
3.1.1	Venkovní jednotky	117
3.8	Útlum hluku	119
3.9	Izolace potrubí	131
3.10	Technická zpráva	137
3.10.1	Úvod	137
3.10.2	Podklady pro zpracování	137
3.10.3	Výpočtové hodnoty klimatických poměrů	137
3.10.4	Výpočtové hodnoty vnitřního prostředí	138
3.10.5	Základní koncepční řešení	138

3.10.6	Hygienické větrání a klimatizace	139
3.10.7	Technologické větrání a chlazení	140
3.10.8	Energetické zdroje	140
3.10.9	Popis technického řešení větracích a klimatizačních zařízení	140
3.10.10	Nároky na energie	142
3.10.11	Měření a regulace	142
3.10.12	Nároky na stavební úpravy	143
3.10.13	Nároky na silnoproud	143
3.10.14	Nároky na vytápění	143
3.10.15	Nároky na chlazení	143
3.10.16	Nároky na zdravotní techniku	143
3.10.17	Protihluková a protitřesová opatření	143
3.10.18	Izolace a nátěry	144
3.1.1	Protipožární opatření	144
3.1.1	Montáž, provoz, údržba a obsluha zařízení	144
3.1.1	Závěr	144
3.11	Specifikace zařízení	145
3.12	Regulační schéma zapojení	147
ZÁVĚR	150

ÚVOD

Prvním úkolem diplomové práce je seznámení se základní problematikou proudění vzduchu ve vzduchovodech a v uzavřených prostorech jako je vnitřní prostředí budov.

Hlavním úkolem práce je zhotovení matematicko-fyzikálního modelu návrhu divadelní haly, podle prováděcí dokumentace z mé bakalářské práce. Cílem je vyhodnocení výsledků původní varianty a vytvoření dalších dvou variant, které dokážou svojí distribucí zlepšit kvalitu mikroklimatu v pobytové zóně prostoru hlediště, a vybrání nejvhodnější varianty.

Koncepční část je určena návrhu původního řešení na úrovni prováděcí dokumentace.

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

OPTIMALIZACE VĚTRÁNÍ DIVADELNÍ HALY

OPTIMIZING THEATER HALL VENTILATION



ČÁST A – TEORETICKÁ ČÁST

1. TEORIE PROUDĚNÍ VZDUCHU

1.1 Vlastnosti vzduchu

Vzduch je směs plynů tvořící naší atmosféru, má vliv na chemické proměny jak v nerostné přírodě, tak i v živých organismech. Jeho tepelná kapacita udržuje na zemi přijatelnou teplotu pro život. Jiné hodnoty tepelné kapacity vzduchu by způsobovaly velmi nízké teploty na noční straně zeměkoule a velmi vysoké teploty na denní straně zeměkoule.

Tab.č.1 – složení suchého vzduchu

Látka	Objemové zastoupení [%]	Hmotnostní zastoupení [%]	Látka	Objemové zastoupení [%]	Hmotnostní zastoupení [%]
N ₂	78,084 %	75,51 %	He	0,000524 %	0,000072 %
O ₂	20,946 %	23,16 %	CH ₄	0,0002 %	0,0001 %
Ar	0,934 %	1,28 %	Kr	0,000114 %	0,0003 %
CO ₂	0,033 %	0,05 %	H ₂	0,00005 %	0,000001 %
Ne	0,001818 %	0,001212 %	Xe	0,0000087 %	0,00004 %

Tab.č.2 – fyzikální vlastnosti vzduchu při 0 °C a 101 325 Pa

Vlastnost	Symbol	Jednotka	Hodnota
Molární hmotnost	M _m	g/mol	28,98
Molární objem	V _m	dm ³ /mol	22,40
Plynová konstanta	r	J/kg.K	287,10
Hustota	ρ	kg/m ³	1,29
Měrná tepelná kapacita	c	kJ/kg.K	1,01
Izoentropický exponent	κ	-	1,40
Teplota tání	t _t	°C	-213,4
Teplota varu	t _v	°C	-194,5

Uvedené plyny až na výjimky (CO₂, CH₄, H₂) jsou relativně stálé a jejich koncentrace se nemění. Atmosférický vzduch dále obsahuje proměnlivé množství vodní páry, různých jiných plynů (CO, SO₂, N₂O, NO, NO₅, NH₃, O₃) a tuhé aerosoly.

1.2 Základy proudění vzduchu

V projektování vzduchotechnických zařízení se aplikují zákony mechaniky tekutin, které považují vzduch za zcela nestlačitelnou tekutinu, jejíž hustota se mění s teplotou t a případně s obsahem vodní páry p_d podle stavové rovnice

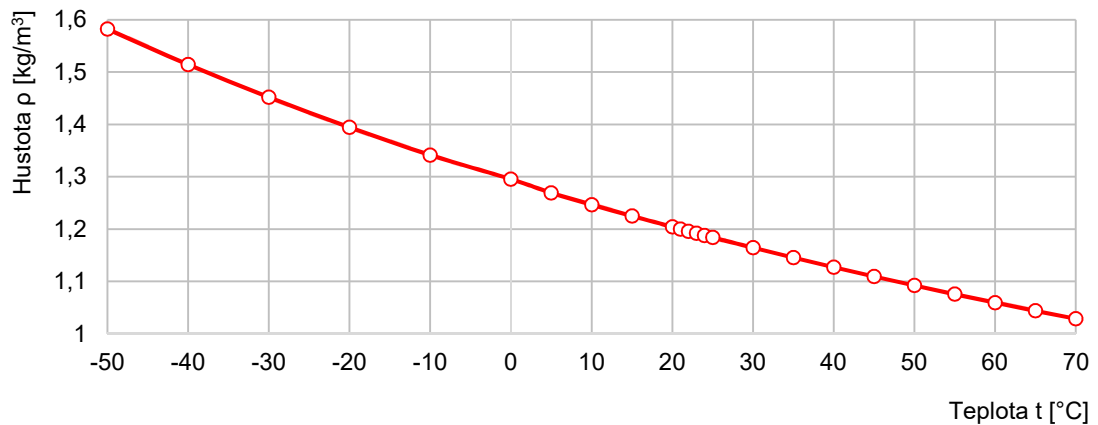
$$\rho = \frac{p - 0,378 \cdot p_d}{r_a \cdot (t + 273,15)} \quad (1.1)$$

Kde r_a je plynová konstanta suchého vzduchu ($r_a = 287,1 \text{ J/(kg.K)}$) a p je tlak atmosférického vzduchu závislý na nadmořské výšce H .

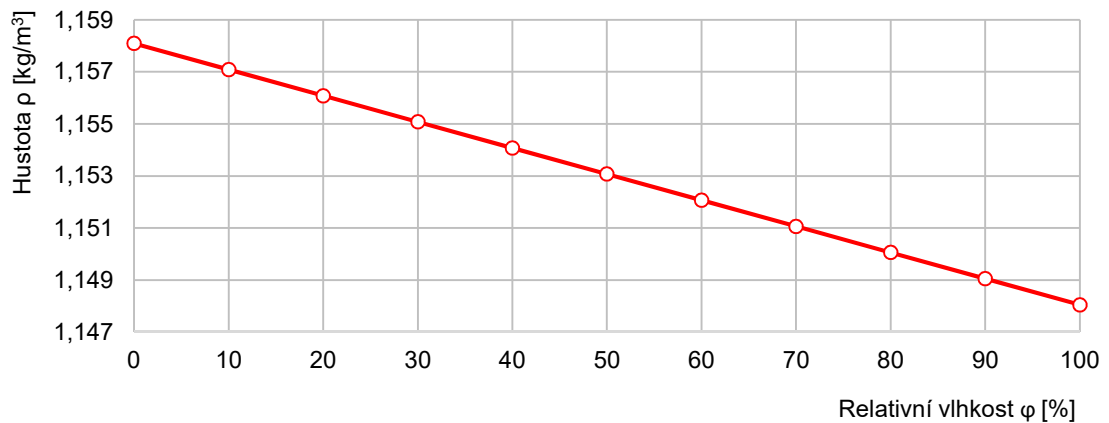
$$p = 101,4 \cdot \frac{16000}{16000 + H_m} \quad (1.2)$$

Obsah vodní páry p_d lze spočítat z tlaku syté vodní páry p''_d , který závisí na teplotě vzduchu.

$$p_d = \varphi \cdot p''_d = \varphi \cdot e^{(23,58 \frac{4044,6}{235 + t})} \quad (1.3)$$



Obr.č.1 – Závislost hustoty suchého vzduchu na teplotě



Obr.č.2 – Závislost hustoty vzduchu na relativní vlhkosti při teplotě 20°C

Viskozita vzduchu má na jeho proudění značný vliv, který lze v ojedinělých případech zanedbat. Například při řešení rychlostních polí při odsávání z prostoru lze vzduch považovat za ideální kapalinu (neviskózní). Pro rozhraní teplot $t = -20$ až $+80^\circ\text{C}$ je viskozita

$$\mu = (17,2 + 0,047 \cdot t) \cdot 10^{-6} \quad [\text{Pa} \cdot \text{s}] \quad (1.4)$$

Ve výpočtech vzduchotechniky se používá kinematická viskozita ν . Pro podmínky standardního vzduchu platí:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad [\text{m}^2/\text{s}] \quad (1.5)$$

1.2.1 Zákony pohybu vzduchu

Při řešení úloh proudění tekutin se vychází ze zákona zachování hmoty a Newtonova pohybového zákona, případně zákona o zachování energie.

1.2.1.1 Rovnice kontinuity

Rovnice kontinuity vyjadřuje zákon o zachování hmoty a je kontrolním vztahem kinematiky proudění. Pro prostorový pohyb platí podmínka

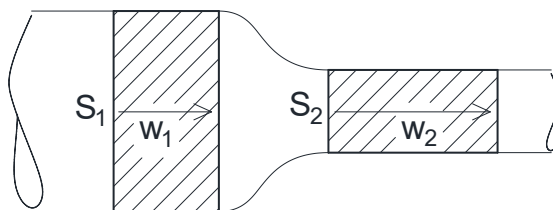
$$\frac{\delta w_x}{\delta x} + \frac{\delta w_y}{\delta y} + \frac{\delta w_z}{\delta z} = 0 \quad (1.6)$$

V oblasti proudění vzduchu vzduchovody se průtok vzduchu nemění

$$m = \rho \cdot S \cdot w = \text{konst.} \quad (1.7)$$

Z rovnice kontinuity plyne

$$\frac{w_1}{w_2} = \frac{S_1}{S_2} \quad (1.8)$$



Obr. č. 3 – Rovnice kontinuity při změně průřezu

Kde S je plocha průřezu proudící tekutiny a w rychlost proudící tekutiny.

1.2.1.2 Pohybová rovnice

Podle Newtonova pohybového zákona působí na proud vzduchu vnější síly, které způsobují jeho zrychlení. Pro ideální tekutinu vyjadřuje tento zákon Eulerova pohybová rovnice

$$\frac{Dw}{Dt} = R - \frac{1}{\rho} \cdot \left(\frac{\delta p}{\delta x} + \frac{\delta p}{\delta y} + \frac{\delta p}{\delta z} \right) \quad (1.9)$$

Výsledné zrychlení částice je složeno ze zrychlení místního, vyvolaného nestacionaritou rychlostního pole a zrychlení konvektivního, způsobené nehomogenitou rychlostního pole

$$\frac{Dw}{Dt} = \frac{\delta w}{\delta t} + w \cdot \nabla w = \frac{\delta w}{\delta t} + \left(w_x \cdot \frac{\delta w}{\delta x} + w_y \cdot \frac{\delta w}{\delta y} + w_z \cdot \frac{\delta w}{\delta z} \right) \quad (1.10A)$$

Jako vnější zrychlení R může vystupovat gravitační, odstředivé nebo Coriolisovo. Pohybová rovnice pro viskózní kapalinu se nazývá Navierova-Stokesova

$$\frac{Dw}{Dt} = R - \frac{1}{\rho} \cdot \left(\frac{\delta p_x}{\delta x} + \frac{\delta p_y}{\delta y} + \frac{\delta p_z}{\delta z} \right) + \nu \cdot \left(\frac{\delta^2 w}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 w}{\delta y^2} + \frac{\delta^2 w}{\delta z^2} \right) \quad (1.10B)$$

Molekulární kinematická viskozita ν je použitelná jen v případě laminárního proudění. Pro turbulentní proudění je možné viskozitu doplnit o zdánlivou viskozitu ν_T , která však není látkovou konstantou. Zdánlivá viskozita je závislá na rychlostech a jejich gradientech.

1.2.1.3 Energetická rovnice

Při ustáleném proudění může do tekutiny vstupovat energie. Na výstupu je tato energie e_2 vyšší než energie na vstupu e_1 a to o přivedené teplo q_i a mechanickou energii l_i .

$$e_2 = e_1 + q_i + l_i \quad (1.11)$$

Energie proudící tekutiny je dána součtem potenciální energie (gravitační – vztažené od vodorovné roviny) g , tlakové p , kinetické w a tepelné c_v .

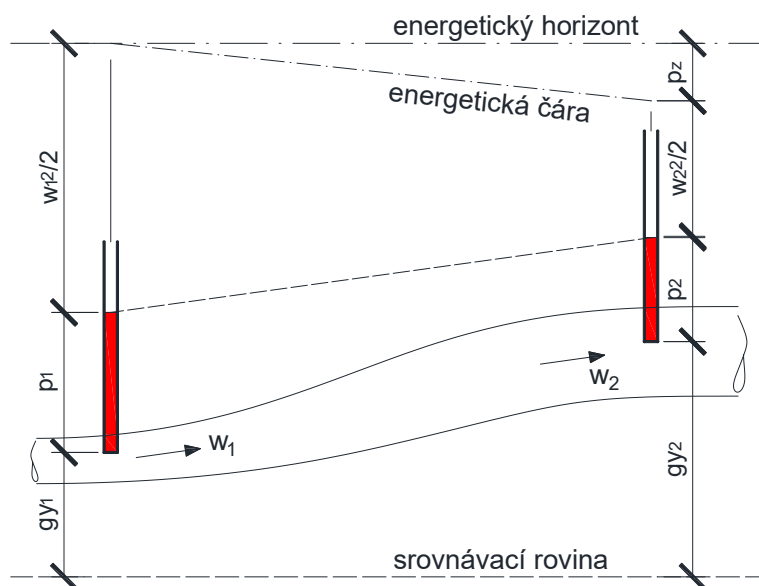
Zobecněná bernoulliova rovnice (1.12) je forma energetické rovnice, díky které lze řešit průtok vzduchu v gravitačním poli při sdílení tepla s okolím a s přívodem mechanické energie l_v ventilátorem.

Tento vztah neobsahuje přímé vyjádření přeměny mechanické energie na tepelnou v důsledku tření, vyvolaného viskozitou.

$$gy_1 + \frac{w_1^2}{2} = gy_2 + \frac{w_2^2}{2} + \int_1^2 \frac{dp}{\rho} + l_{v1,2} \quad (1.12)$$

Platí pro ustálené proudění. Pro neměnnou se hustotu je integrální formou Bernoulliovy rovnice

$$\rho \cdot gy_1 + \rho \cdot \frac{w_1^2}{2} + p_1 = \rho \cdot gy_2 + \rho \cdot \frac{w_2^2}{2} + p_2 + \Delta p_{z1,2} \quad [\text{Pa}] \quad (1.13)$$



Obr.č.4 – Bernoulliho věta ideální kapaliny [5]

Podle Bernoulliho věty je energie proudícího vzduchu, nebo jakékoliv jiné tekutiny, vyjádřena součtem tlaků polohového, dynamického a statického. Při proudění tekutiny je její energie ztrácena vlivem tlakových ztrát třením a místními tlakovými rázy (místní narušení proudu vzduchu různými překážkami).

1.2.1.4 Hybnost

Hybnost je důležitou součástí teorie pohybu tekutiny a vychází z druhého Newtonova zákona. Na hybnost proudící tekutiny mají vliv vnější síly ΣF , které jsou rovny rozdílu hybností vstupující tekutiny H_1 a vystupující tekutiny H_2 .

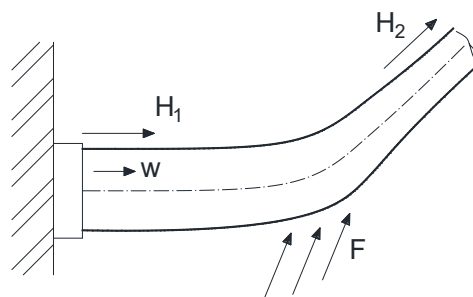
$$\frac{dp}{dt} = \frac{d}{dt} \cdot \int_V \rho \cdot w \cdot dV = \Sigma F \quad (1.14A)$$

$$H = \dot{m} \cdot w = \rho \cdot \dot{V} \cdot w \quad (1.14B)$$

$$H_2 - H_1 = \Sigma F \quad (1.14C)$$

Při průtoku vzduchu kontrolní oblasti je rozdíl průtokových hybností vystupujícího a vstupujícího vzduchu roven výslednici vnějších sil, působících na tekutinu v kontrolní oblasti.

Vnějšími silami může být výsledný tlak okolního vzduchu, výsledný tlak stěn, které tvoří hranice kontrolní oblasti a hmotová síla (tíha vzduchu, odstředivá síla nebo coriolisova setrvačná síla). Ve většině případů má působení tíhového pole malý vliv a lze zanedbat.



Obr. č. 5 – Věta o změně hybnosti

Změny směru, stěny a překážky v potrubí působí ve smyslu třetího Newtonova zákona akce a reakce. Mají záporný vliv na hybnost vzduchu.

Pro viskózní tekutiny lze větu hybnosti použít pouze v případě, jedná-li se o stacionární proudění.

1.2.1.5 Moment hybnosti

Moment hybnosti se projevuje, když kapalina proudí skrze rotující kanálky. V takovém případě je vhodnější používat momenty sil. Tak jako krouticí moment je součin síly a ramene, tak i moment hybnosti se součinem obvodové složky průtokové hybnosti a poloměru rotace. Platí věta, že moment vnějších sil M_k je roven změně momentu hybnosti.

$$M_k = \dot{m} \cdot (r_2 \cdot c_{u2} - r_1 \cdot c_{u1}) \quad (1.15)$$

Kde c_u jsou obvodové rychlosti vzduchu na výstupu (2) a na vstupu (1) do kontrolního objemu, r je poloměr účinků obvodových rychlostí vzduchu a \dot{m} je měrný hmotnostní tok kontrolním objemem.

1.2.1.6 Potenciální proudění

Systémy Navierových-Stokesových rovnic popisují poměrně širokou třídu tekutin, jejichž řešení může být komplikované, a proto lze použít zjednodušené modely. Jeden z modelů je tak zvaný model potenciálního proudění. Je to nejjednodušší model, který respektuje pouze kontinuitu a setrvačnost.

Předpokládá se nevazké, nevířivé proudění, platí podmínka:

$$\nabla \cdot \mathbf{x} \cdot \mathbf{w} = 0 \quad (1.16)$$

Pak je rychlost rovna gradientu rychlostního potenciálu ϕ .

$$\mathbf{w} = \text{grad } \phi \quad (1.17)$$

Pohyb částic vzduchu popisuje proudová funkce ψ , která je s rychlostním potenciálem ϕ vázána složkami rychlosti podmínkou pro rovinné proudění:

$$w_x = \frac{\delta \phi}{\delta x} = \frac{\delta \psi}{\delta y} \quad w_y = \frac{\delta \phi}{\delta y} = \frac{\delta \psi}{\delta x} \quad (1.18)$$

Smyslem potenciálního proudění je jeho vířivost, která je uzavřena do elementárního bodu, kolem kterého tekutina potencionálně proudí. Elementární bod s určitou vířivostí je vyloučen z tohoto proudění, a proto se proudění považuje za nevířivé.

Tab.č.3 – Základní případy proudové a potenciální funkce

Funkce	Potenciální ϕ	Proudová ψ
Homogenní proud ve směru osy x	$w \cdot x$	$w \cdot y$
Homogenní proud ve směru osy y	$w \cdot y$	$w \cdot x$
Pramen	$k \cdot \ln r$	$k \cdot \phi$
Potenciální vír	$-k \cdot \phi = -k \cdot \arctg \frac{y}{x}$	$k \cdot \ln r = k \cdot \ln \sqrt{x^2 + y^2}$

Pro rovinný pramen je konstanta k vázána objemovým průtokem V [m³/s], který vyjadřuje vydatnost pramene v 1 m tloušťky vrstvy:

$$k = V/2 \cdot \pi \quad \text{Pro prostorový pramen:} \quad k = V/4 \cdot \pi \quad (1.19)$$

Pro potenciální vír je konstanta k vázána na cirkulaci rychlosti Γ , která je kladná ve smyslu otáčení hodinových ručiček.

$$k = \Gamma/2 \cdot \pi \quad , \text{kde} \quad \Gamma = \int_a^b \vec{w} \cdot d\vec{s} \quad (1.20)$$

V potenciálním víru roste tlak v radiálním směru účinkem odstředivé síly. Přírůstek tlaku na poloměru r je závislý na obvodové rychlosti w .

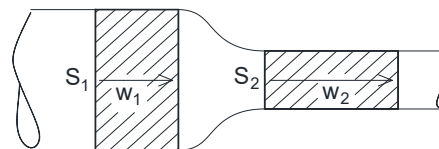
$$\frac{dp}{dr} = \rho \cdot \frac{w^2}{r} \quad (1.21)$$

Potenciální proudění kolem víru je proudění, které se v přírodě ve skutečnosti nemůže vyskytnout. Vířivost není nikdy v reálném světě uzavřena do elementárního bodu, ale vždycky se vyskytuje na nějaké oblasti s konečnými rozměry. Nicméně při splnění určitých předpokladů lze reálné vírové proudění nahradit modelem potencionálního víru.

Složitější případy potencionálního proudění se řeší skládáním základních případů proudění.

1.2.2 Proudění vzduchu vzduchovody

Při proudění vzduchu vzduchovody je proud vzduchu obklopen stěnami potrubí a rychlostní profil v průřezu proudu je proměnný. Je to z důvodu vzniku třecích (tečných) sil mezi stěnou a jednotlivými proudnicemi vzduchu. Rychlejší proudnice vzduchu je bržděná třecí silou pomalejší proudnice. Rychlost proudícího vzduchu roste spojitě od stěny až k ose proudu. Tyto jevy způsobuje viskozita vzduchu, která vzniká díky neustálého směšování molekul vzduchu a přenosem hybnosti napříč proudem vzduchu.



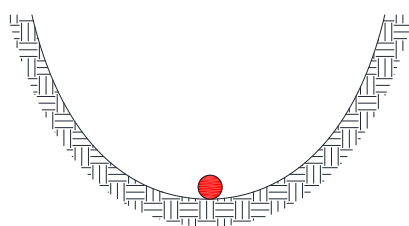
Obr. č. 6 – Profil rychlostí
v potrubí

1.2.2.1 Nestabilita proudění

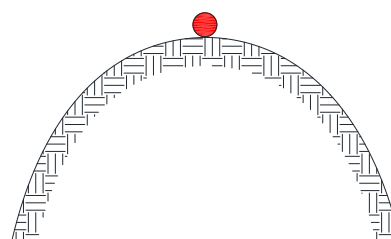
Nestabilita proudění má v mechanice tekutin značný význam. Tento jev je vědecký zkoumán od konce 19. století a dosud není dokonale vysvětlen.

Nestabilita proudění je mechanismus, podle kterého se tekutina vypořádává s účinkem vnějších sil působících na její proudění. Vlivem působení některé síly se může doposud stabilní proud stát prouděním nestabilním a po určité době může, ale nemusí, přejít zpátky do proudění stabilního. Toto nové stabilní proudění však může být mnohem citlivější na některé působící síly než to původní a může se stát znova nestabilním.

Nestabilita proudění tekutiny se dá přirovnat k základnímu principu nestability v obecné mechanice (Obr. č. 7). Pokud je kulička ve stabilním prostředí a dojde k její vychýlení účinkem vnější síly, vrátí se kulička do své původní polohy. Naopak pokud je kulička v nestabilním prostředí a dojde k její vychýlení účinkem vnější síly, ztrácí svojí stabilitu, vytvoří mechanismus a do původní polohy se nedokáže vrátit.



a) stabilní



b) nestabilní

Obr. č. 7 – Nestabilita v obecné mechanice [8]

Jedním z hlavních cílů výzkumu nestability proudění je určení, kdy a jakým způsobem dojde k nestabilitě proudění a jaký bude vývoj proudu.

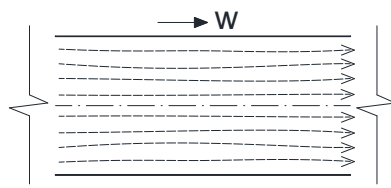
1.2.2.2 Profily proudění

Laminární proudění (stabilní)

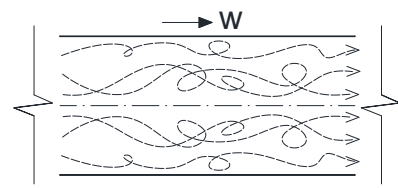
Laminární proudění (Obr.č.8a) nastává při nižších rychlostech, kdy se jednotlivé proudnice vzduchu nebo tekutiny pohybují rovnoměrně a rovnoběžně s malými odchylkami. Při laminárním proudění dochází k mírnému směšování jednotlivých molekul.

Turbulentní proudění (nestabilní)

Turbulentní proudění (Obr.č.8b) nastává při překročení mezní rychlosti (Reynoldsova čísla), kdy se jednotlivé proudnice vzduchu mísí a výrazně mění svůj směr proudu. Dochází k výraznému směšování velkých skupin molekul – makročásteček. V důsledku větší hmotnosti makročásteček je účinek třecích sil mnohem větší jak u laminárního proudění.



Obr.č.8a – Laminární proudění



Obr.č.8b – Turbulentní proudění

Reynoldsovo kritérium Re určuje hranici, kdy se laminární proudění stává nestabilní a mění se v turbulentní proudění. Závisí na rychlosti proudění w , charakteristickém rozměru d a viskozitě ν .

$$Re = \frac{\text{setrvačné síly}}{\text{viskózní síly}} = \frac{w \cdot d}{\nu} \quad (2.01)$$

Pro kruhové potrubí je hranicí $Re_{krit} = 2320$. Při nižších hodnotách proudí laminárně, při vyšších turbulentně.

Ve vzduchovodech není rovnoměrný rychlostní profil a proudění je prostorové (má rychlostní složky podélné i příčné). Pro použití jednoduchých integrálních rovnic pro jednorozměrné proudění trubicí se stejnou rychlostí ve všech bodech se zavádějí střední rychlosti.

1.2.2.3 Střední rychlosti

Objemový průtok je kvazilineární při použití střední rychlosti podle průřezu w_a :

$$V \cong w_a \quad A = \int_A w \cdot dA \quad (2.02)$$

Kde se předpokládá střední rychlost:

$$w_a = k \cdot w_{max} \quad (2.03)$$

Kde k je součinitel rychlostního pole a w_{max} je nejvyšší rychlost v rychlostním profilu průřezu.

Hybnost za pomoci střední rychlosti lze vyjádřit podle:

$$H = w_H \cdot m = \int_A \rho \cdot w^3 \cdot dA \quad (2.04)$$

Kde w_H je střední rychlost násobena Boussinesquovým součinitelem β :

$$w_H = \beta \cdot w_a \quad (2.05)$$

Boussinesquův součinitel β vyjadřuje poměr skutečné hybnosti proudu k hybnosti proudu vyjádřené ze střední průřezové rychlosti.

$$\beta = \frac{\sum w_i^2 \cdot \Delta S_i}{w_a \cdot S} \quad (2.06)$$

Kde w_i je místní rychlost příslušná dílčí ploše ΔS_i příčného profilu a S průtočná plocha.

Boussinesquův součinitel β lze odhadnout přibližným vztahem:

$$\beta = 1 + \left(\frac{w_{max}}{w_a} - 1 \right)^2 \quad (2.07)$$

Hodnoty Boussinesquův součinitele se pro potrubí pohybují v rozmezí hodnot 1,01 až 1,12.

Kinetickou energii, která má rozměr výkonu, neboť jde o energii hmotnostního toku vzduchu m , vyjádříme střední rychlostí podle vztahu:

$$E = m \cdot w_E^2 / 2 = 1/2 \cdot \int_A \rho \cdot w^3 \cdot dA \quad (2.08)$$

$$w_E^2 = \alpha \cdot w_A^2 \quad (2.09)$$

Kde α je Coriolisův součinitel.

Coriolisův součinitel α , který vyjadřuje poměr skutečné kinetické energie ke kinetické energii vyjádřené ze střední průřezové rychlosti. Dá se popsat základním vztahem:

$$\alpha = \frac{\sum w_i^3 \cdot \Delta S_i}{w_a^3 \cdot S} \quad (2.10)$$

Coriolisův součinitel α lze odhadnout přibližným vztahem:

$$\alpha = 1 + 3 \cdot \left(\frac{w_{max}}{w_a} - 1 \right)^2 - 2 \cdot \left(\frac{w_{max}}{w_a} - 1 \right)^3 \quad (2.11)$$

Pro ustálený rychlostní profil jsou součinitel rychlostního pole k , Boussinesquův součinitel β , Coriolisův součinitel α , číselné konstanty, které se liší od jednotky tím více, čím nerovnoměrnější je rychlostní profil. Velikostí lze rychlosti poskládat následovně:

$$w_{max} > w_E > w_H > w_A \quad (2.12)$$

1.2.2.4 Tlakové ztráty

Při proudění vzduchu vzduchovody dochází ke tření mezi vzduchem a stěnou vzduchovodu. Třením se část mechanické energie mění v teplo a ztrácí svůj potenciál. Ztráty ve smyslu Bernoulliovy rovnice (1.12) se projevují poklesem statického tlaku. Důležitým parametrem je součinitel tření λ .

Tlakové ztráty třením v přímém vzduchovodu o délce l , průřezu A a obvodu U jsou:

$$\Delta p_z = \lambda \cdot \frac{U}{4 \cdot A} \cdot l \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho \quad (2.13)$$

Součinitel tření λ závisí na Reynoldsově čísle a hladkosti stěn vzduchovodu. Drsnost potrubí se vyjadřuje ekvivalentní drsností ε (mm). Závislost těchto proměnných, dneska zatím nejpřesněji, zachycuje **Moodyho diagram**, který publikoval v roce 1944 profesor Lewis Moody. Moodyho diagram je rozdělen do čtyř oblastí. První oblast je oblast laminárního proudění, kde je jediná křivka popsána Hagen-Poiseulleovým zákonem pro výpočet součinitele tření λ :

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (2.14)$$

Druhá oblast je kritická zóna, nachází mezi Reynoldsovým číslem 2000 až 4000, která nemá definovanou hodnotu součinitele tření. V kritické zóně jsou podmínky proudění více pulzující než ustálené. Třetí oblast je přechodová oblast na turbulentní proudění a křivky v této oblasti jsou popsány Colebrookovou funkcí:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \cdot \log \left(\frac{k}{3,7065 \cdot D} + \frac{2,5226}{Re \cdot \sqrt{\lambda}} \right) \quad (2.15)$$

Profesor Lewis Moody popsal křivky pro dokonale hladké proudění vztahem:

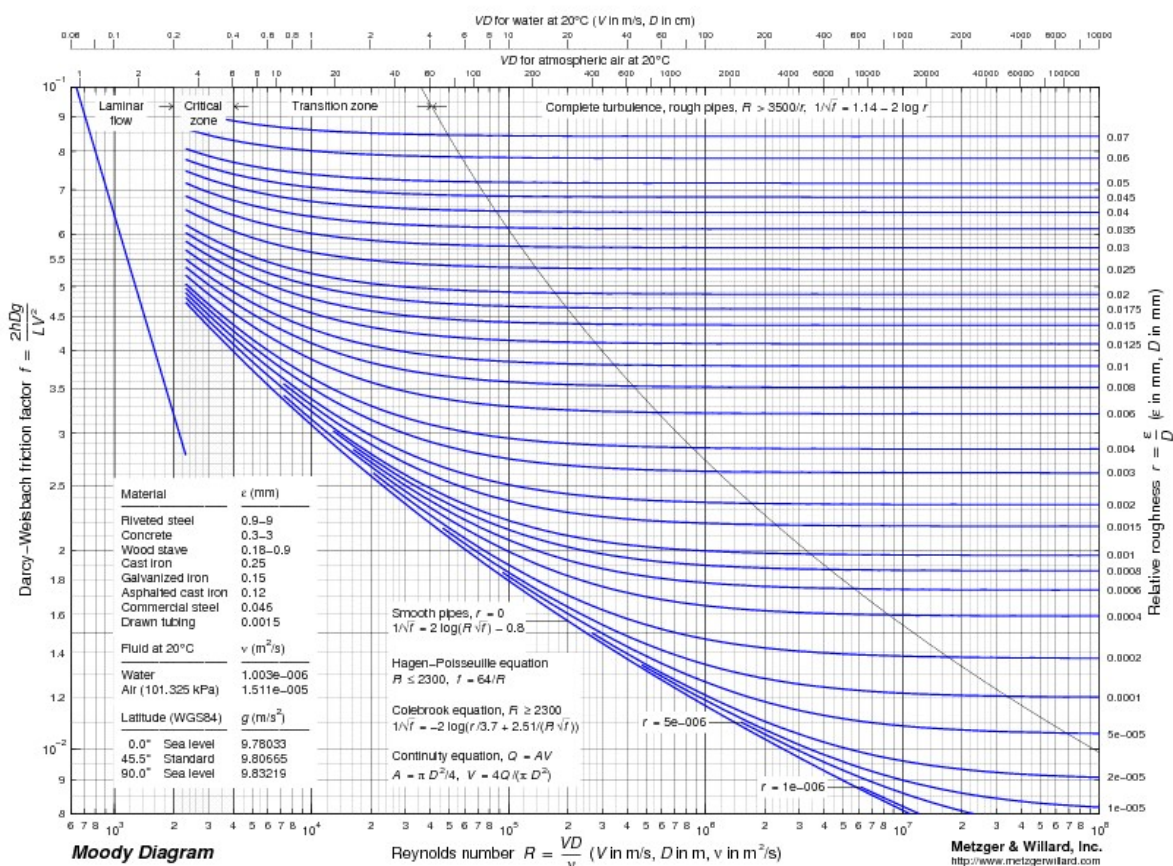
$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \cdot \log \frac{Re \cdot \sqrt{\lambda}}{2,51} \quad (2.16)$$

Poslední a čtvrtou oblastí je oblast plné turbulence. Hranici přechodu křivek můžeme vyjádřit vztahem:

$$Re = \frac{200}{\lambda} \cdot \frac{D}{k} \quad (2.17)$$

Stanovení součinitele tření při turbulentním proudění je náročnější a nelze popsat jedním vztahem celou oblast turbulentního proudění. Výpočetní vztahy se rozdělí na oblasti podle Reynoldsova čísla. Ve vzduchotechnice se zjednodušeně pro výpočet součinitel tření λ používá vztah:

$$\lambda = 0,28 \cdot \left[\log 5,5 \cdot \frac{d}{\varepsilon + 55 \cdot d / Re} \right]^{-2} \quad (2.18)$$



Obr.č.9 – Moodyho diagram [8]

Součinitel tření λ lze stanovit experimentálně podle Bernoulliho rovnice, kdy zkoumáme pokles tlaku mezi dvěma kontrolními body neměnného průřezu potrubí. Pro součinitel tření platí obecně vztah:

$$\lambda = \frac{\tau}{\frac{1}{8} \rho \cdot w^2} \quad (2.19)$$

Kde smykové napětí τ lze stanovit z rozdílů tlaků podle vztahu:

$$\tau = \frac{R}{2} \cdot \frac{p_1 - p_2}{L} \quad (2.20)$$

U nekruhového potrubí jsou tlakové ztráty dány součinitelem tření λ pro kruhové potrubí ekvivalentního průřezu. Tlakové ztráty jsou stejné v potrubí obdélníkovém i ekvivalentním kruhovém za předpokladu, že součinitel tření λ a rychlost w jsou v obou potrubích stejné, je-li ekvivalentní průměr podle rychlosti (hydraulický).

$$d_{ew} = 4 \cdot \frac{A}{U} = 2 \cdot \frac{a \cdot b}{a+b} = 2 \cdot b \cdot \frac{s}{s+1} \quad (2.21)$$

Kde a , b jsou rozměry hran obdélníkového průřezu potrubí a $s = a/b \geq 1$ je poměr stran.

Experimentální měření nám dokázaly, že takto stanovený součinitel tření $\lambda_o = f(\varepsilon/d_{ew}, Re = w \cdot d_{ew}/\nu)$ je třeba pro obdélníkové potrubí korigovat.

$$\lambda = C \cdot \lambda_o \quad (2.22)$$

Kde C je korekce a závisí na Reynoldsově čísle Re . Pro turbulentní proudění ($Re > 2320$) se korekce stanoví:

$$C = 1,1 - 0,1 \cdot b/a \quad (2.23)$$

Pro poměr $a/b \leq 1$ je korekce C velmi blízká k 1 ($C \cong 1$). Korekce pro laminární proudění ($\lambda_o = 64/Re$, $Re \leq 2320$) se stanoví:

$$C = 0,87 \cdot \left(\frac{b}{a}\right)^{-0,19} \quad \text{pro } 0,1 < b/a \leq 1 \quad (2.24)$$

$$C = 1,5 - 1,6 \cdot \frac{b}{a} \quad \text{pro } b/a \leq 0,1 \quad (2.25)$$

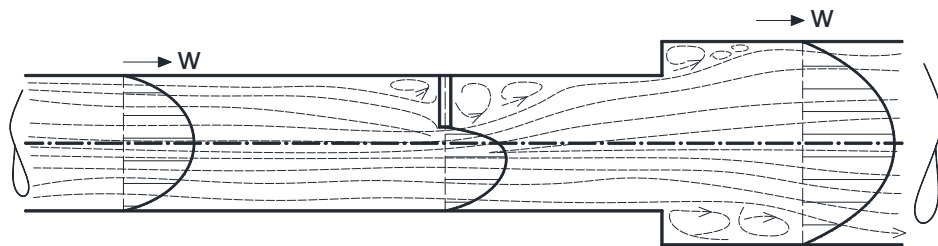
Pro štěrby lze uvažovat $\lambda = 96/Re$.

Ze vztahu (2.21) můžeme odvodit vztahy pro výpočet obdélníkového potrubí.

$$b = d_{ew} \cdot \frac{s+1}{2 \cdot s} \quad (2.26)$$

$$A = a \cdot b = a \cdot \frac{b^2}{b} = d_{ew}^2 \cdot \frac{(s+1)^2}{4 \cdot s} \quad (2.27)$$

Ve vzduchotechnice se vzduchovody skládají z tvarovek, které mění směr proudu, a z různých funkčních kusů jako klapky výměníku a podobně, které proud vzduchu deformují díky svojí geometrii a kromě tlakových ztrát třením zde dochází k tlakovým ztrátám místními odpory.



Obr.č.10 – Proudění vzduchu vzduchovodem

Tlakové ztráty místními odpory se vyjadřují násobkem dynamického tlaku.

$$\Delta p_z = \xi \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho \quad (2.28)$$

Ztrátový součinitel ξ závisí na tvaru deformace proudu. Pro $Re > 10^4$ je $\xi = konst.$

Analyticky lze stanovit pouze ztrátu náhlým rozšířením proudu podle Bordůva vztahu:

$$\Delta p_z = \frac{(w_1 - w_2)^2}{2} \cdot \rho \quad \text{odkud } \xi_1 = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2 \quad (2.29)$$

Ztrátové součinitelé tvarovek se stanovují experimentálně.

Místní tlakovou ztrátu lze nahradit ztrátou třením s ekvivalentní délkou v přímém vzduchovodu l_e .

$$l_e = \xi \cdot \frac{d}{\lambda} \quad (2.30)$$

Celkové tlakové ztráty v úseku vzduchovodu se pak stanoví jako ztráty třením v délce dané součtem geometrické délky úseku a ekvivalentních délek místních odporů.

1.2.2.5 Tlak proudící tekutiny

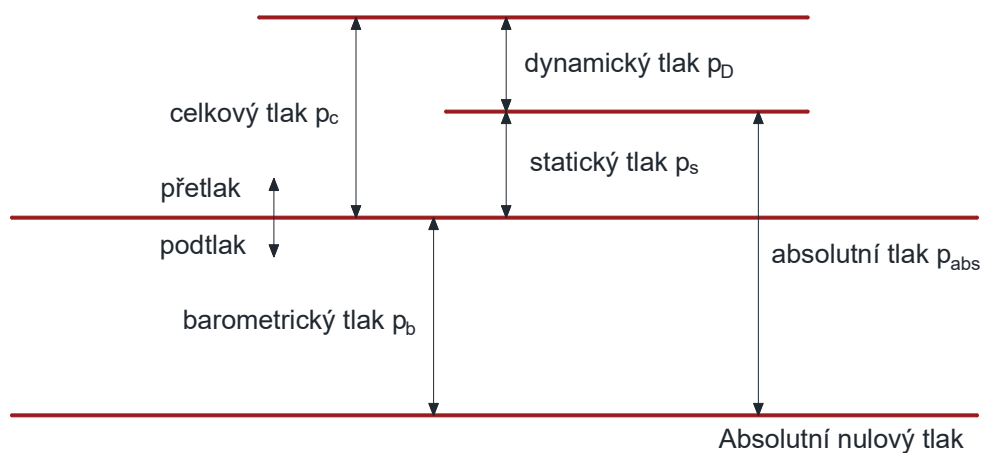
Z bernoulliho rovnice jsme se již dozvěděli, že při proudění vzduchu nebo jakékoliv tekutiny uzavřenou trubicí či vzduchovodem, působí tekutina na stěny trubice tlakem.

Statický tlak – Tlak působící na stěny trubice.

Dynamický tlak – Tlak při proudění tekutiny. Je dán kinetickou energií $p_k = \rho \cdot w^2 / 2$.

Celkový tlak – je součtem statického a dynamického tlaku:

$$p = p_s + p_D \quad (2.31)$$



Obr.č.11 – Tlakové definice

Dynamický tlak nelze přímo změřit a experimentálně se určuje rozdílem naměřeného statického a celkového tlaku.

Tlaková ztráta je dána rozdílem celkových tlaků před a za kontrolním objemem.

$$\Delta p_z = p_{c1} - p_{c2} = (p_{s1} - p_{s2}) + (p_{d1} - p_{d2}) = \xi_1 \cdot p_{d1} \quad (2.32)$$

Pokles statického tlaku lze vyjádřit násobkem tlaku dynamického

$$p_{s1} - p_{s2} = \Delta p_z - (p_{d1} - p_{d2}) = \xi_{s1} \cdot p_{d1} \quad (2.33)$$

Kde ξ_{s1} je součinitel poklesu statického tlaku:

$$\xi_{s1} = \xi_1 - 1 + \left(\frac{w_2}{w_1}\right)^2 \quad (2.34)$$

Při poklesu rychlosti ve tvarovce stoupne statický tlak. Při průtoku neviskózní tekutiny (beze ztrát) je přeměna kinetické energie na tlakovou dokonalá. V reálné viskózní tekutině může stoupnout statický tlak v případě, je-li tlaková ztráta malá vzhledem k poklesu dynamického tlaku.

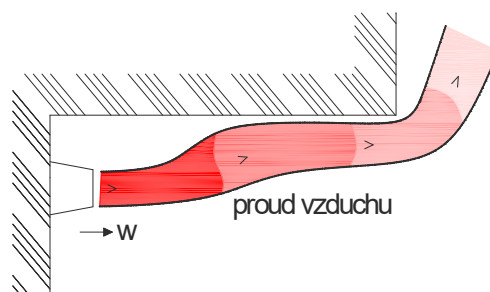
$$\eta = \frac{p_{s2} - p_{s1}}{p_{d2} - p_{d1}} \quad (2.35)$$

Poměr η se nazývá účinnost proměny (dynamického tlaku na statický). Vyjádřením rozdílů statických tlaků z Bernoulliho rovnice (1.13) při zanedbání polohových tlaků dostaneme:

$$\eta = 1 - \frac{\Delta p_z}{p_{d1} - p_{d2}} = 1 - \frac{\xi_1}{1 - \left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2} \quad (2.36)$$

1.2.3 Proudění vzduchu ve větraném prostoru a jeho analytické řešení

Pohyb vzduchu ve větraném prostoru je vyvolán proudy přiváděného vzduchu z vyústek. Struktura proudu z vyústky je turbulentní při Reynoldsově čísle $Re > 2000$. Turbulence strhává klidný vzduch z okolí do proudu vzduchu z vyústky. Stržené částice musí být nahrazovány z volného prostoru. Účinkem proudu vzniká malé, avšak zanedbatelné proudění směrem k proudu. Proudem vyvolané tlakové rozdíly jsou malé. Vzniklé tlakové síly však výrazně deformují proud z vyústky, který se šíří blízko stěn. Způsobují například vzájemnou interakci – spojení paralelních proudů a přilnutí proudu ke stěnám (Coandův jev).

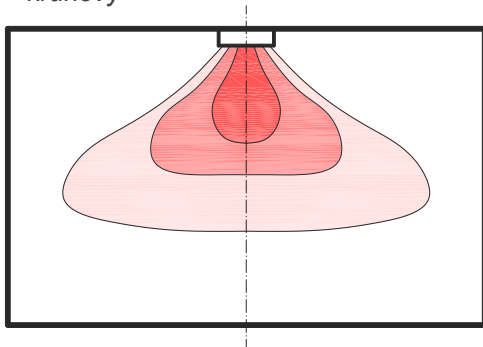


Obr.č.12 – Coandův jev

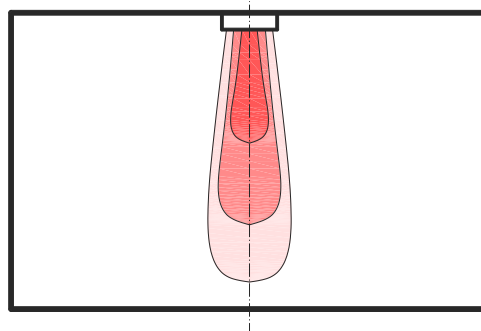
Teoreticky výpočet rychlostního pole v proudu z vyústky naráží na obecné potíže řešení turbulentního proudění viskózní kapaliny. Pro turbulentní viskozitu, která není fyzikální konstantou, je třeba použít některý z modelů turbulence. Určité výsledky přineslo užití počítačů, které umožnily řešení rychlostních polí při rovinném proudění. Pro projekční praxi mají dosud největší význam výsledky experimentů použité v poloempirickém řešení úlohy.

Základními geometrickými útvary jsou proudy kruhové, ploché a radiální. Kruhový proud vzniká od určité vzdálenosti z obdélníkových a štěrbinových vyústek. Proud radiální vzniká při výtoku z anemostatu.

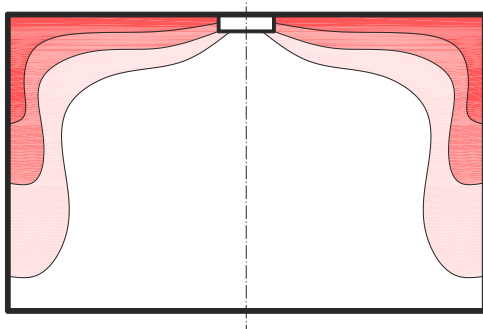
d) kruhový



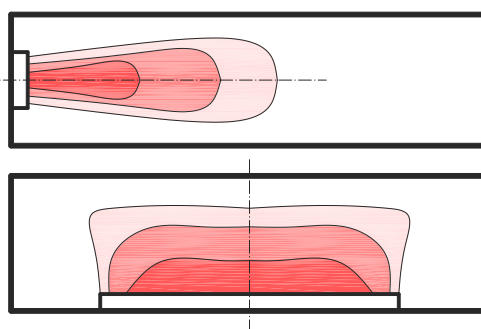
c) kruhový kompaktní



b) radiální



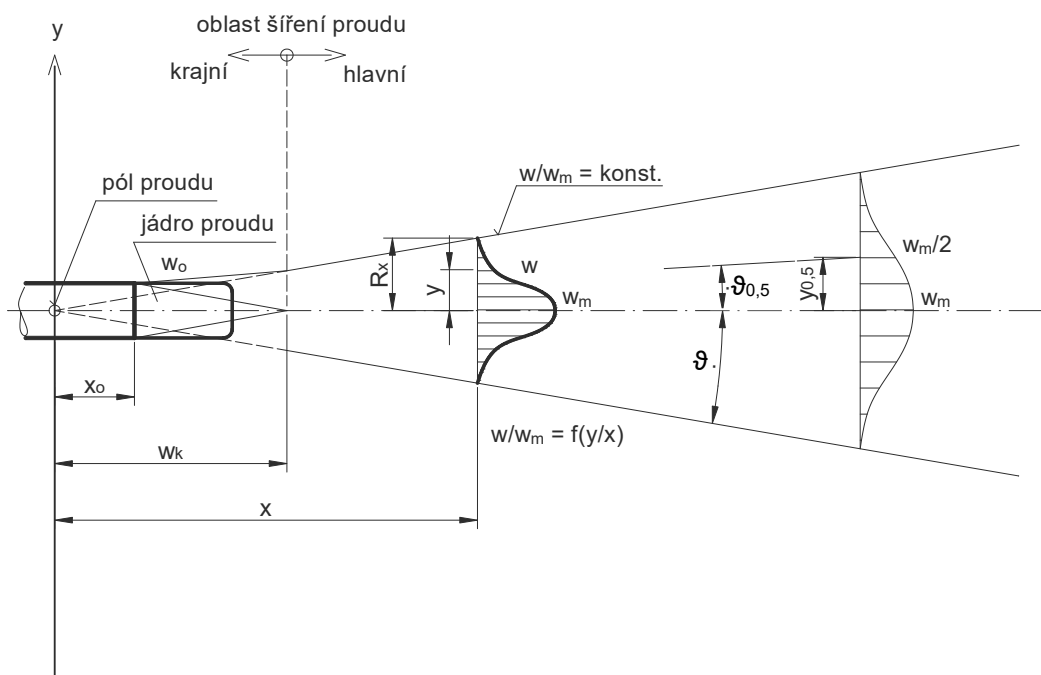
a) plochý



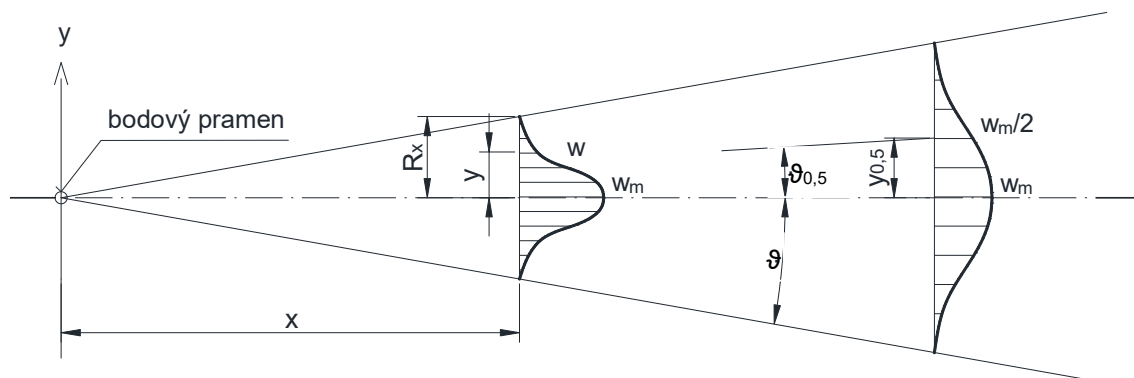
Obr.č.13 – Základní geometrické útvary proudu vzduchu v místnosti [4]

1.2.3.1 Neizotermní volný proud z vyústek

Volný proud z vyústky kruhové či obdélníkové je podobný proudění z pramene ve vzdálenosti $x > x_k$. V takzvané hlavní oblasti podle významu pro větrání jsou obě proudění podobná. Praktický význam má především podobnost rychlostních profilů.



Obr.č.14 – Schéma volného proudu z kruhové vyústky [1]



Obr.č.15 – Schéma volného proudu bodového pramenu [1]

Poměrné rychlostní profily $w/w_m = f(y/y_{0,5})$ jsou stejné, nezávislé na vzdálenosti x . V proudu je kromě podélné složky w také příčná složka rychlosti v , která na vnějším okraji proudu vytváří sekundární proudy a určuje přírůstek průtoku vzduchu v proudu.

$$v = \frac{dV}{dS_x} \quad (3.01)$$

Kde elementární povrch je dán obvodem a elementem délky proudu:

$$dS_x = U_x \cdot dx \quad (3.02)$$

Příčná složka rychlosti je řádově menší než složka podélná v celém jeho průřezu kromě okraje.

Úhel rozšiřování volného proudu v hlavní oblasti je nezávislý na poměrech ve vyústce a je $\vartheta = 12,5^\circ$. Poloměr proudu:

$$R_x = x \cdot \tan \vartheta = 0,22 \cdot x \quad (3.03)$$

Vzdálenost pólu proudu od vyústky x_0 je empirickou veličinou a je nutno ji stanovit experimentálně.

Rychlostní profil podélné složky v kruhovém proudu je podle Schlichtinga:

$$\frac{w}{w_m} = \left[1 - \left(\frac{y}{R_x} \right)^{1,5} \right]^2 \quad (3.04)$$

V plochem proudu je v rovnici místo poloměru poloviční šířka proudu b_x . Ze vztahu pro rychlostní profil je možné stanovit poměrné hodnoty střední rychlosti podle průřezu v hlavní oblasti volného proudu

$w_A/w_m = k = 0,257$ pro kruhový a $k = 0,45$ pro plochý proud, podle hybnosti:

$w_H/w_A = \beta = 2,03$ pro kruhový a $\beta = 1,56$ pro plochý proud a poměru

$w_H/w_m = k \cdot \beta = 0,52$ pro kruhový a $k \cdot \beta = 0,7$ pro plochý proud.

Schlichtingův vztah odpovídá představě konečného účinku proudu ve vzdálenosti R_x od osy proudu.

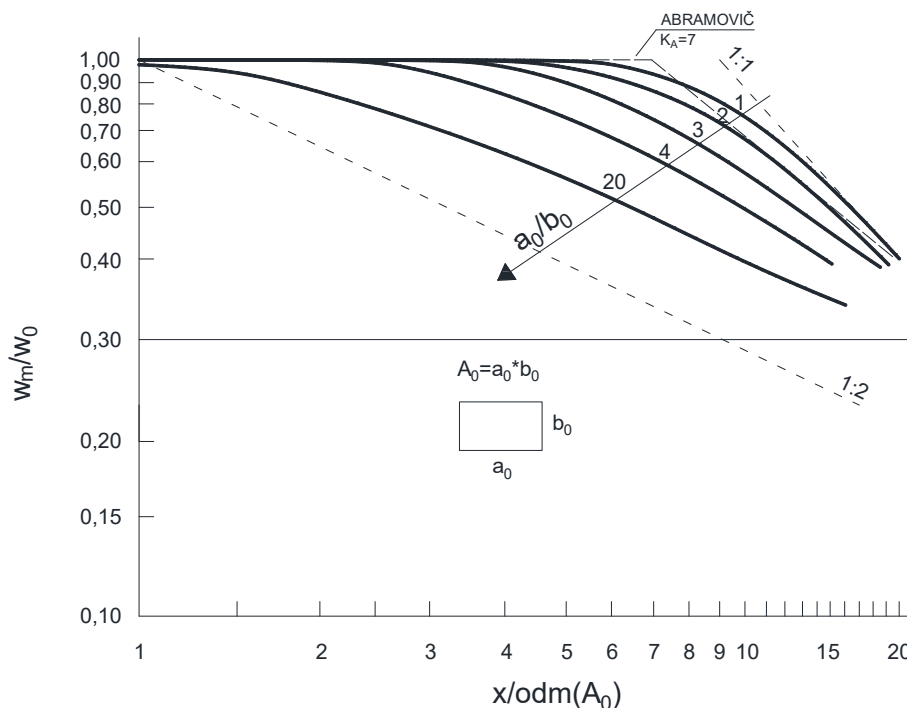
Rychlostní profil podle Reichardta:

$$\frac{w}{w_m} = e^{[-0,7(y/y_{0,5})^2]} \quad (3.05)$$

který odpovídá představě, že se rychlost blíží k nule asymptoticky. Vzdálenost od osy proudu, ve které je průměrná rychlost $w = w_m/2$ je podle vztahu:

$$y_{0,5} = x \cdot \tan \vartheta_{0,5} \quad (3.06)$$

Osová rychlost vzdálenosti od vyústky klesá a je nejdůležitějším vztahem pro návrh vyústek k přívodu větracího vzduchu do prostoru. V krajní oblasti, kde je jádro proudu (Obr.č.14), je rychlost v ose proudu z vyústky rovna rychlosti výtokové $w_m = w_0$ (Obr.č.16) za předpokladu, že v proudu není překážka. V přechodové oblasti se vytváří ustálený rychlostní profil volného proudu, automodelní vůči geometrickým poměrům ve vyústce.



Obr.č.16 – Pokles osově rychlosti volného proudu se vzdáleností od vyústky (orientační hodnoty) [1]

V hlavní oblasti pro větrání platí závislost pro kruhový proud:

$$\frac{w_m}{w_0} = K_A \cdot \frac{\sqrt{A_0}}{x} = K_D \cdot \frac{D_0}{x} \quad (3.07)$$

a závislost pro plochý proud:

$$\frac{w_m}{w_0} = K_b \cdot \sqrt{\frac{b_0}{x}} \quad (3.08)$$

kde b_0 je šířka štěrby. Pro čtyřhranné vyústky platí vztah 3.07, kde za průměr D_0 dosazujeme ekvivalentní průměr podle průřezu:

$$D_0 = \sqrt{4 \cdot a_0 \cdot b_0 / \pi} \quad (3.09)$$

kde a_0 a b_0 jsou rozměry čtyřhranné vyústky. Konstanty vyústí K , vyjadřují pokles rychlosti a jsou ve vzájemném vztahu.

$$K_A = K_D \cdot \sqrt{4/\pi} = 1,13 \cdot K_D \quad (3.10)$$

Konstanty je třeba stanovit experimentálně pro každý typ vyústky.

Při přesnějším výpočtu osově rychlosti ve vzdálenosti blízké počátku hlavní oblasti není možné zanedbat vzdálenost pólu proudu od ústí vyústky x_0 . Podle G. N. Abramoviče platí vztah pro kruhový proud:

$$\frac{w_m}{w_0} = \frac{0,48}{\frac{ax}{D_0} + 0,145} \quad (3.07A)$$

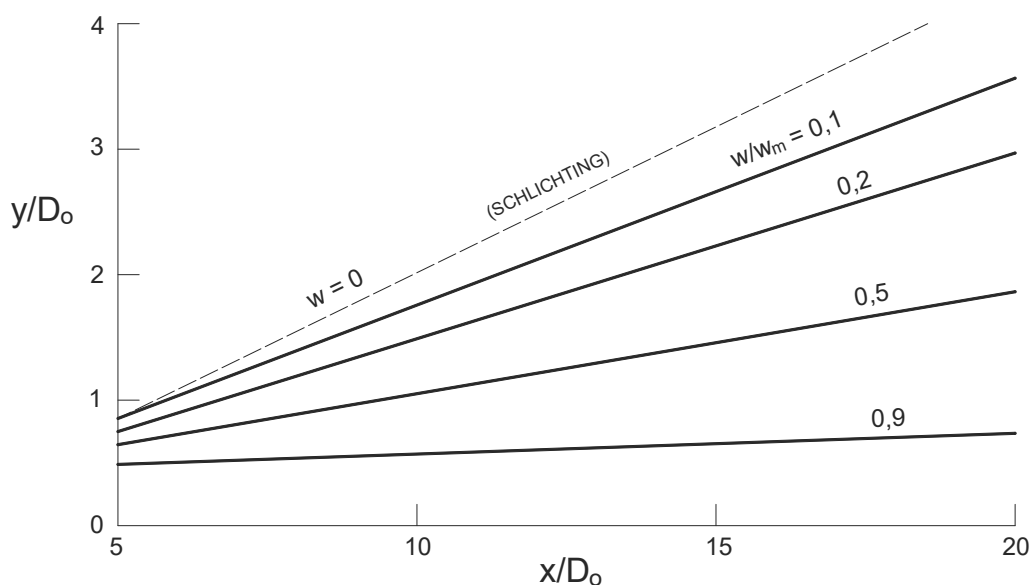
kde x je vzdálenost od pólu proudu. Spolu s x_0 tvoří druhou experimentální konstantu součinitel vířivosti proudu a . Při vzdálenosti pólu $x_0 \approx 0$ jsou konstanty přibližně:

$$K_A \approx 0,542/a \quad (3.11A)$$

$$K_D \approx 0,48/a \quad (3.11B)$$

Šířka proudu. Stanovit přesnou hranici proudu vzduchu experimentálními metodami je dost obtížné. Proudění na okraji je doprovázeno silnými turbulentními víry a vnějším potencionálním prouděním. Kromě toho směrově nepřesný anemometr reaguje jak na podélnou složku, tak i na příčnou složku rychlosti. Kvůli těmto aspektům se za hranici proudu považuje plocha, kde je ještě malé, ale konečná podélná složka rychlosti w .

Hranice volného proudu definovaného poměrem $w/w_m = konst.$ jsou přímkové.



Obr.č.17 – Hranice volného proudu ve vzdálenosti od vyústky při $w/w_m = konst.$ (orientační hodnoty) ^[1]

Rovnice spojnice bodů (kde $w/w_m = konst.$) s použitím rychlostního profilu podle 3.05 je

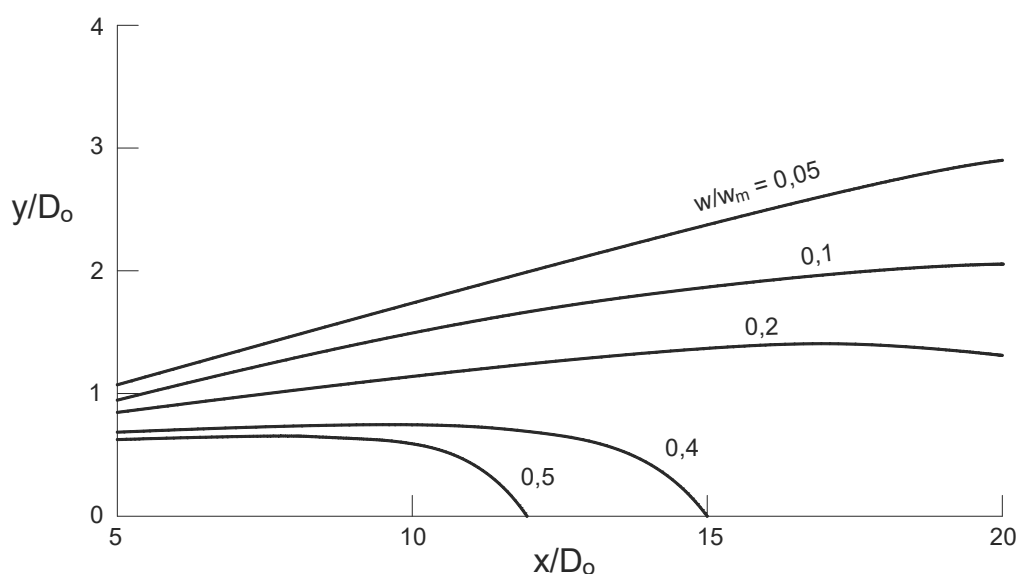
$$\frac{y}{D_o} = \sqrt{3,3 \cdot \log \frac{w_m}{w} \cdot \frac{x}{D_o} \cdot \tan \vartheta_{0,5}} \quad (3.12)$$

Pokud dosadíme za osovou rychlost w_m vztah z rovnice 3.07, bude rovnice spojnice bodů ($w/w_m = konst.$):

$$\frac{y}{D_o} = \sqrt{3,3 \cdot \log(K_D \cdot \frac{D_o}{x} \cdot \frac{w_o}{w}) \cdot \frac{x}{D_o} \cdot \tan \vartheta_{0,5}} \quad (3.13)$$

Hranice proudu podle rovnice 3.13 mají křivočarý charakter a končí na ose proudu (Obr.č.18).

Měřitelná hranice proudu se omezuje rychlostí $w = 0,2$ m/s.



Obr.č.18 – Hranice kruhového volného proudu při $w/w_m = konst.$ (orientační hodnoty) ^[1]

Pro objemový průtok ve výústce platí zákon zachování hmoty:

$$\dot{V}_o = w_o \cdot A_o = w_o \cdot a_o \cdot b_o \quad (3.14)$$

Dosah proudu lze stanovit vztahem:

$$x_L = \frac{K_A}{w_m} \cdot \frac{\dot{V}_o}{\sqrt{A_o}} \quad \text{pro kruhový proud} \quad (3.15A)$$

$$x_L = \frac{K_A}{w_m} \cdot \frac{\dot{V}_o}{D_o} \quad \text{pro proud ze čtyřhranné výústky} \quad (3.15B)$$

$$x_L = \frac{1}{b_o} \cdot \left(\frac{K_b \cdot \dot{V}_o}{a_o \cdot w_m} \right)^2 \quad \text{pro plochý proud} \quad (3.15C)$$

kde pro plochý proud a_o je délka proudu ze štěrbin a b_o jeho šířka.

Objemový průtok vzduchu v proudu lze stanovit z rozptylu

$$\frac{\dot{V}_x}{\dot{V}_o} = 2 \cdot \frac{w_o}{w_m} \quad \text{pro kruhový proud} \quad (3.16A)$$

$$\frac{\dot{V}_x}{\dot{V}_o} = \sqrt{2} \cdot \frac{w_o}{w_m} \quad \text{pro plochý proud} \quad (3.16B)$$

1.2.3.2 Vzájemné působení blízkých proudů přiváděného vzduchu

Pokud mají vyústky malé rozteče vzhledem k dosahu proudu, dochází ke spojení jednotlivých proudů vzduchu. Jsou-li vyústky stejné velikosti, provedení a mají stejnou výtokovou rychlost, pak je rychlost v libovolném bodu složeného proudu rovna rychlosti v ose jednoho proudu násobená součinitelem K_p .

$$K_p = \left[\exp - \left(2 \cdot K_D \cdot \frac{y_i}{x} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3.17)$$

Kde y_i jsou vzdálenosti průmětu bodů, ve kterém se rychlost stanovuje a středu otvoru v jejich rovině.

1.2.3.3 Přilnutí proudu ke stropu (poloohraničený proud)

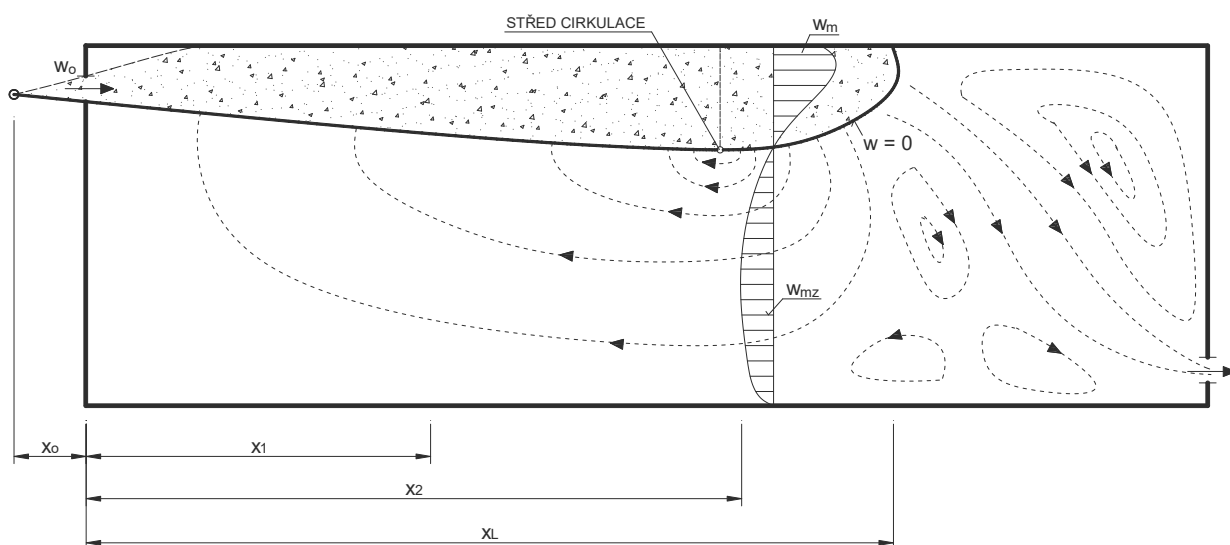
Přilnutí proudu ke stropu má v projekční praxi vliv na distribuci vzduchu v místnosti. Nastává, když je izotermní proud vzduchu přiváděn vyústkou v těsné blízkosti stropu. Vlivem vířivosti proudů dochází ke strhávání paralelních proudů vzduchu pod stropem, kde vniká podtlak a celý proud je tímto pod tlakem strháván ke stropu (Coandův jev).

Proudí-li vzduch pod stropem napříč překážkám jako jsou například trámy, osvětlení, odtrhne se proud vzduchu od stropu a odkloní se směrem dolů. Po odtržení se šíří proud volný. Při proudění pod stropem dochází k třetí a ztrátě tlaku, kde závisí na drsnosti povrchu stropu.

Když proud vzduchu proudící pod stropem narazí až na protilehlou stěnu (vzdálenost stěny je menší než dosah proudu vzduchu), mění se dynamický tlak na statický a směr proudu. S velkou ztrátou dynamického tlaku také klesá rychlost proudu. Za ohybem rychlost proudu klesá rychleji. Plochý proud přejde na polokruhový a rychlost klesá úměrně $1/x$. K podobnému průběhu dochází při střetnutí dvou proudů, vyfukovaných pod stropem proti sobě.

1.2.3.4 Proud vzduchu v uzavřeném prostoru a účinek zpětných proudů

Vzduch, který je v místnosti strháván přívodním vzduchem, je nahrazován částicemi zaniklého proudu v místnosti. Transportem zaniklého proudu vznikají **zpětné proudy**, které mají opačný směr než proudy přívodního vzduchu.



Obr.č.19 – Schéma primárního proudu v uzavřeném prostoru [1]

Kruhový proud se v místnosti šíří jako volný do vzdálenosti x_1 , kterou stanovil Fringse-Pfeiferův experiment. Za tímto prvním kritickým průřezem (příčný průřez proudu zaujme 20 až 25% plochy příčného řezu místnosti) se proudy vzduchu rozšiřují pomaleji, než kdyby vzduch proudil jako volný proud.

$$x_1 = 0,29 \cdot K_A \cdot \left(\frac{S_M}{S_0}\right)^{0,44} \cdot D_0 \quad (3.18)$$

Kde S_M je plocha průřezu uzavřeného prostoru. Druhý kritický průřez (příčný průřez proudu zaujme 40 až 42% plochy příčného řezu místnosti) je ve vzdálenosti x_2 , kde je průřez proudu největší vzhledem k průřezové ploše prostoru S_M .

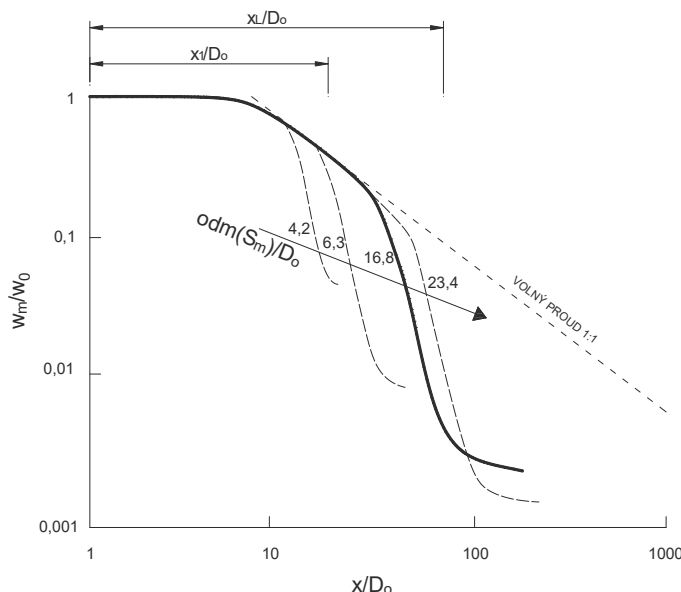
$$x_2 = C \cdot K_A \cdot \sqrt{S_M} \quad (3.19)$$

Kde součinitel C závisí na omezení primárního proudu. $C = 0,37$ pro proud přimknutý ke stropu, $C = 0,52$ pro proud souměrně obklopený zpětnými proudy vzduchu. Ve větší vzdálenosti než x_2 začíná zánik proudu. Největší vzdálenost, kterou proud může dosáhnout stanovil Bachereva-Trojanovského experiment.

$$x_L = 6,42 \cdot D_0 \cdot \left(\frac{S_M}{S_0}\right)^{0,44} \quad (3.20)$$

V projekční praxi, při takovém proudění přiváděného vzduchu, je důležitá rychlost zpětných proudů w_{mz} , která bývá největší ve druhém kritickém průřezu x_2 .

$$\frac{w_{mz,max}}{w_0} = 0,69 \cdot \frac{D_0}{\sqrt{S_M}} \quad (3.21)$$



Obr.č.20 – Pokles maximální rychlosti v proudu stíněném zpětným prouděním. (orientační hodnoty) ^[1]

1.2.3.5 Radiální proudy

Z anemostatů umístěných pod stropem radiální proud vzduchu proudí s malým odklonem od vodorovné roviny. Proud se zpočátku šíří šikmo a ve větší vzdálenosti se mění na kompaktní svislý proud.

V podstropním radiálním proudu vzduchu klesá maximální rychlost podle stejné závislosti jako v kompaktním proudu avšak s jinými součiniteli K charakterizující výústku.

Maximální rychlost radiálního proudu byla experimentálně vyhodnocena ve svislé vzdálenosti $y = 0,015 \cdot x$ od stropu.

1.2.3.6 Neizotermní proudy

Neizotermní proudy spočívají v tom, že proudící vzduch s sebou nenese pouze energii hybnosti, ale i energii ve formě tepla. Tahle tepelné energie se projevuje tím, že daný proud má nižší nebo vyšší svojí teplotu než je teplota okolí. Ze vztahu pro hustotu vzduchu (1.1) už víme, že jeho hustota je závislá na teplotě. Jiná hustota vzduchu způsobuje jiné gravitační vztlakové síly, které působí na molekuly vzduchu. Intenzitu sdělování tepla charakterizuje Prandtlovo turbulentní číslo, dané poměrem turbulentní viskozity ν_T a turbulentní teplotní vodivosti a_T .

$$P_{rT} = \frac{\nu_T}{a_T} \quad (3.22)$$

Proudění vzduchu sdílí rovněž i plynné částice kde se v Prandtlově čísle uplatňuje součinitel turbulentní difuze D_T .

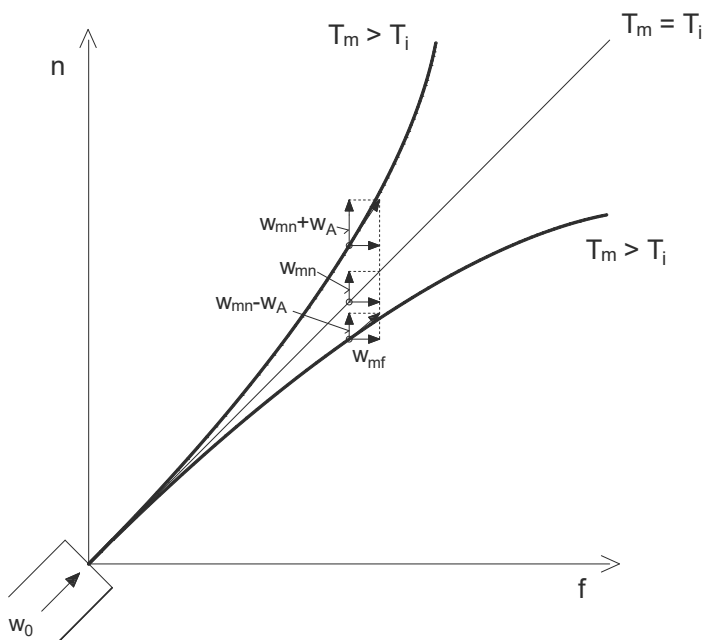
$$P_{rT} = \frac{\nu_T}{D_T} \quad (3.23)$$

Bezrozměrné teplotní profily a profily koncentrací jsou shodné a jsou závislé na rychlostních profilech.

$$\frac{\Delta T}{\Delta T_m} = \frac{\Delta C}{\Delta C_m} = \left(\frac{w}{w_m}\right)^{PrT} \quad (3.24)$$

Rozdíly teplot ΔT a koncentrace ΔC jsou rozdíly daného místa proudu s okolím a s indexem m jsou rozdíly od osy proudu.

V rozvodech klimatizace nebo teplovzdušného vytápění jsou obrazy proudění ovlivněny vztlakem vzduchu o menší hustotě (větší teplotě) vlivem gravitace. To znamená, že teplý vzduch svisle dolů má malý dosah vlivem vztakových sil, radiální proud chladného vzduchu klesá svisle dolů po ztrátě původní hybnosti, teplý vodorovný proud má tendenci stoupat a chladný vodorovný proud má tendenci klesat.



Obr.č.21 – změna spojnice proudu při neizotermním prouděním [2]

$$T_m = T_i$$

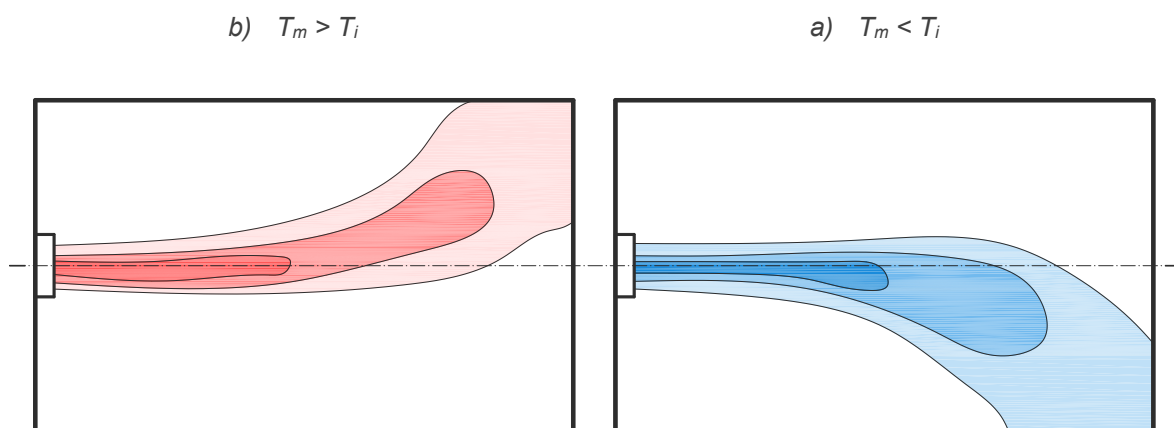
je klasický izotermní proud kdy se teplota proudu rovná teplotě okolí.

$$T_m > T_i$$

je neizotermní proud s vyšší teplotou než je teplota okolí, který má svislou složku rychlosti navýšenou o gravitační vztakové síly.

$$T_m < T_i$$

je neizotermní proud s nižší teplotou než je teplota okolí, který má svislou složku rychlosti snižovanou o gravitační vztakové síly. Gravitační vztakové síly nadnášejí teplejší vzduch z okolí a chladný vzduch o tyto síly klesá.



Obr.č.22 – neizotermní proudy [4]

Intenzitu účinku vztlakových sil vyjadřuje Archimédovo kritérium, které je v každém řezu proudem ve vzdálenosti x rovno:

$$Ar_x = \frac{g \cdot D_o \cdot \Delta t_x}{w_x^2 \cdot T_i} = 0,5 \cdot Ar_o \cdot K_T \cdot \left(\frac{x}{D_o}\right)^2 / K_A^2 \quad \text{pro kruhový proud} \quad (3.25A)$$

$$Ar_x = 0,44 \cdot Ar_o \cdot K_T \cdot \left(\frac{x}{b_o}\right)^{3/2} / K_b^2 \quad \text{pro plochý proud} \quad (3.25B)$$

$$Ar_x = 0,28 \cdot Ar_h \cdot K_T \cdot \left(\frac{x}{D_h}\right) / K_A^2 \quad \text{pro plochý proud} \quad (3.25C)$$

kde K_T je konstanta vyústí, která charakterizuje vyrovnání teplot v ose proudu, D_h průměr hrdla anemostatu a Ar_o je archimédovo číslo, vyjadřující poměr vztlakových a setrvačných sil ve vyústí.

$$Ar_o = \frac{g \cdot D_o \cdot \Delta t_o}{w_o^2 \cdot T_i} \quad (3.26)$$

Zakřivení osy vodorovného proudu v místnosti je

$$\frac{y}{D_o} = 0,3 \cdot K_T \cdot Ar_o \cdot \frac{\left(\frac{x}{D_o}\right)^3}{K_A^2 \cdot K_M^3} \quad \text{pro kruhový proud} \quad (3.27A)$$

$$\frac{y}{b_o} = 0,31 \cdot K_T \cdot Ar_o \cdot \frac{\left(\frac{x}{b_o}\right)^{5/2}}{K_A^2 \cdot K_M^3} \quad \text{pro plochý proud} \quad (3.27B)$$

kde y je svislý odklon od osy vyústky ve vzdálenosti x . Pro praxi je důležitým případem šíření chladného proudu podél stropu. Místo jeho odtržení lze stanovit:

$$\frac{x_p}{\sqrt{A_o}} = K_A \cdot \frac{K_M^{3/2}}{C \cdot K_T \cdot Ar_o} \quad \text{pro proud kruhový (C = 1,55) a radiální (C = 1,11)} \quad (3.28A)$$

$$\frac{x_p}{b_o} = \sqrt[3]{\frac{K_A^4}{(C \cdot K_T \cdot Ar_0)^2}} \cdot K_M^2 \quad \text{pro plochý proud} \quad (3.28B)$$

1.2.3.7 Volné konvekční proudy

Volné konvekční proudy vznikají v blízkosti povrchu stěn, které jsou tvořeny částicemi ohřátého nebo ochlazeného vzduchu. Je-li povrchová teplota některého povrchu vyšší, než je teplota okolního vzduchu, nabývají pak částice vzduchu tepelný potenciál a mají tendenci stoupat vzhůru. Naopak je-li teplota povrchu menší jak teplota okolního vzduchu, pak částice ztrácí svůj tepelný potenciál a mají tendenci klesat dolů. Jako příklad lze uvést konvekční proud teplého vzduchu podél rozehřáté fasády, na kterou svítí slunce nebo konvekční proud chladného vzduchu podél chladného okna v zimním období.

Volné konvekční proudy mají podstatný vliv na obrazy proudění především v horkých provozech. Konvekční proudy jsou neúmyslně a většinou nechtěné, se kterými se musí počítat.

1.3 Analýza systémů distribuce vzduchu

Současná energetická situace ve světě vyžaduje, aby stavby a jejich části byly řešeny tak, aby spotřeba energie k dosažení vhodného mikroklimatu byla co nejmenší. Větrací a klimatizační jednotky musí dosáhnout obecné hygienické požadavky s vysokou efektivností.

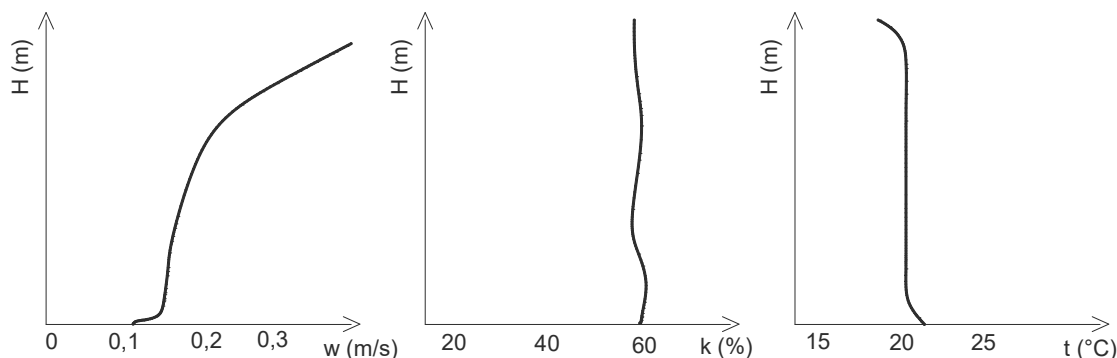
Systém distribuce vzduchu můžeme rozdělit na základě analýzy do dvou skupin:

1. Distribuce vzduchu shora směrem dolů (směšovací proudění)
2. Distribuce vzduchu zdola směrem nahoru (vztlakový systém)

1.3.1 Distribuce shora směrem dolů

Je to běžně používaný systém, kdy se vytváří turbulentní proudění a má vyplňovat celý prostor. Přírodní vzduch se přifukuje relativně vysokou rychlostí a s vysokým rozdílem teplot oproti teplotě v místnosti (4 až 8 K). Přiváděný upravený vzduch se směšuje s okolním vzduchem, čímž se rychle vyrovnají teplotní rozdíly a rychlosti vzduchu podél jeho dráhy. Teplotní rozdíly a rychlost je nutné zredukovat tak, aby bylo dosaženo hygienicky přívětvých podmínek mikroklimatu.

Smíšení je většinou tak dokonalé, že v celém prostoru jsou teplotní profily a koncentrace škodlivin rovnoměrné. Nevýhodou je, že míšení nastává v celém prostoru a v důsledku toho se oblast pobytu zatíží cirkulačním vzduchem a vzniká vysoká výška směšovací zóny.



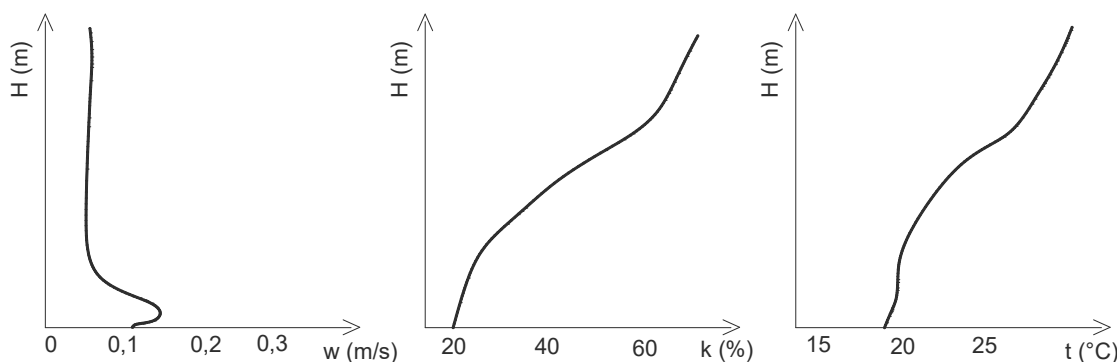
Obr.č.23 – Průběh rychlosti w , koncentrace k , teploty t po výšce místnosti H při distribuci zhora [2]

1.3.2 Distribuce zdola směrem nahoru

Tento systém je řešený jako vztakový, který zajišťuje garanci kvality prostředí jen v ohraničené části prostoru – zóně pobytu.

Zóna pobytu je většinou zásobována přívodním vzduchem o malé rychlosti z velkoplošných vyústek u podlahy nebo vyústek přímo u referenční zóny. Zóna pobytu se tak stává oblastí s maximální koncentrací čerstvého vzduchu. Uvedený systém navíc podporuje konvektivní proudění, což znamená, že koncentrace a teplota odváděného vzduchu mimo zónu pobytu jsou vyšší. Oblast pobytu není zatěžována cirkulačními proudy a konvektivní proudění snižuje tepelnou zátěž vznikající v této oblasti.

Systém podporuje konvektivní proudění v těsné blízkosti člověka, to znamená, že konvektivní složka tepelných zisků od lidí se vytěsňuje a sálavá složka odevzdává v bytové zóně. Podle laboratorních měření je sálavá složka 1/3 z celkového produkovaného tepla člověka a zbylé 2/3 ke konvektivní složce.



Obr.č.24 – Průběh rychlosti w , koncentrace k , teploty t po výšce místnosti H při distribuci zdola [2]

1.4 Metody řešení proudění vzduchu

K výsledkům obrazů proudu vzduchu v konkrétních případech můžeme přistupovat několika způsoby. Je to hlavně otázka náročnosti a o výjimečnosti řešeného prostoru.

1.4.1 Analytické

Při analytické řešení danou úlohu zjednodušíme na dvourozměrnou nebo jednorozměrnou úlohu, u které popisujeme chování vzduchu fyzikálními zákony. Zákonitosti analytického řešení proudu vzduchu jsou popsány v kapitole 1.2.

1.4.2 Experimentální

Jedná se experimentální měření v konkrétním reálném prostoru s reálnými podmínkami. Experiment zahrnuje velkou škálu nestálých okrajových podmínek, které je v analytickém řešení musí zjednodušovat. Nevýhodou je, že se měření může provádět až v realizovaném objektu. Experimenty jsou vhodné spíše pro ověření zrealizovaného návrhu.

Pokud je ještě řešený prostor nezrealizovaný a je stejný nebo z větší části podobný jako některý už zrealizovaný, lze provést experiment na podobném prostoru a předpokládat podobné chování v řešeném nezrealizovaném prostoru.

Dominantním experimentálním měřením proudění vzduchu v místnosti jsou kouřové zkoušky, kdy se přiváděný vzduch smísí s aerosolem a pouští se výstřiky do prostoru. Aerosolové částice ve vzduchu jsou viditelné a lze tak pozorovat šíření čerstvě přivedeného vzduchu.

1.4.3 Empirické

Empirické stanovení proudění vychází z výsledků experimentálních metod, již zrealizovaných objektů a ze znalosti analytického přístupu k proudění vzduchu. Tyto dvě metody se porovnávají a lze vyvodit podobnostní faktory pro různé případy, které umožní rychlejší a přesnější návrh.

1.4.4 CFD (computational fluid dynamics)

Jedná se numerické modelování. CFD modely slouží k simulaci proudění vzduchu pomocí výpočetní techniky. Používají základní fyzikální rovnice jako je zákon zachování hmoty, zákon zachování hybnosti, zákon zachování energie a turbulentní rovnice. Počítačové simulace jsou velmi náročné, ale i přes zjednodušování modelů jsou výsledky nejpřesnější a velmi podobné reálnému případu.

Numerické modelování se dnes kvůli jeho náročnosti využívá pouze v případech tvarově náročných dispozic, kde nelze analyticky ani empiricky předpovídat chování proudů vzduchu.

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

OPTIMALIZACE VĚTRÁNÍ DIVADELNÍ HALY

OPTIMIZING THEATER HALL VENTILATION



ČÁST B – MATEMATICKO-FYZIKÁLNÍ ŘEŠENÍ

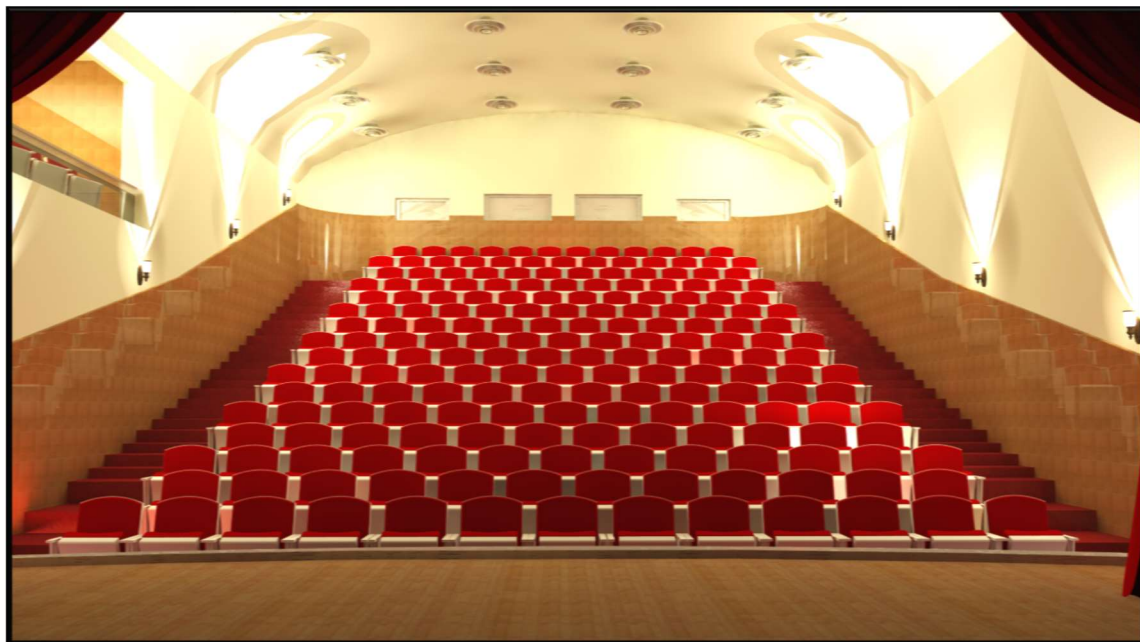
2. MATEMATICKO-FYZIKÁLNÍ ŘEŠENÍ V PROGRAMU STAR CCM+

Objektem pro řešení je divadelní hala složená z hlediště a jeviště, která byla předmětem bakalářské práce a pro kterou byl vypracovaný návrh na úrovni prováděcího projektu. Hala má proměnlivou výšku pobytové zóny, zakřivený podhled a velký počet míst pro diváky, tudíž vysoké nároky na vzduchotechniku. Vzduchotechnika se stará o dopravu čerstvého vzduchu, vytápění i chlazení, takže kvalita distribuce koncovými elementy je velmi důležitá.

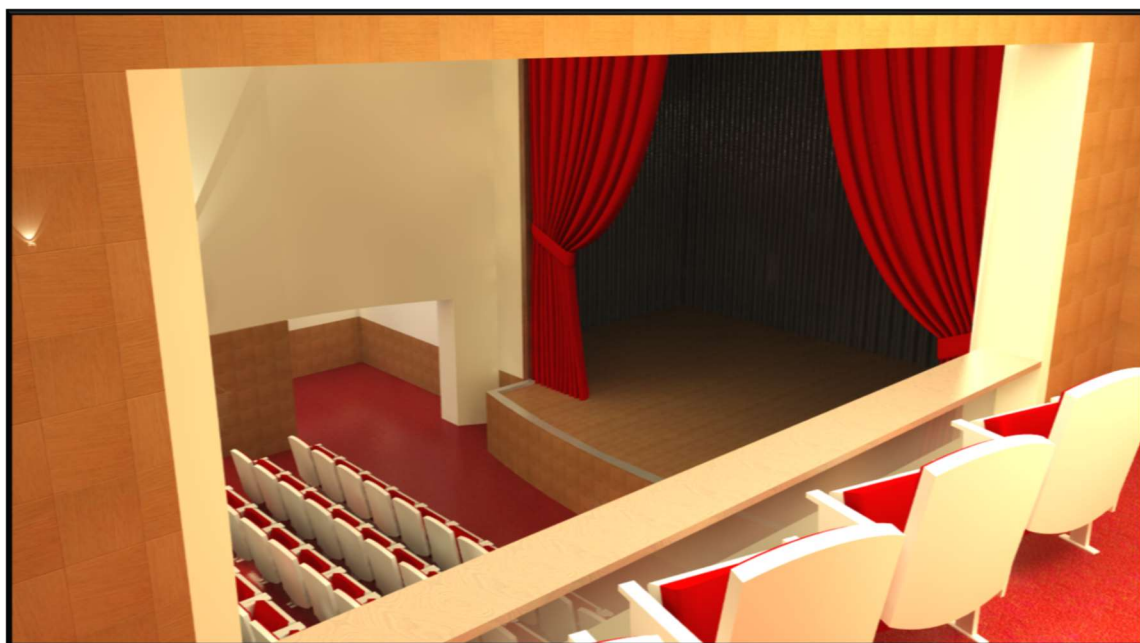
Vyhodnocované a sledované parametry jsou výsledné teploty, rychlosti a jejich rozdíly v pobytové oblasti návštěvníků. Podkladem je původní navržená varianta distribuce vzduchu, podle které jsou navrženy alternativní varianty distribuce, a výsledkem práce je vyhodnocení nejlepší varianty, která bude nejlépe splňovat vlastnosti prostředí pro pobyt osob.

2.1 Vizualizace původního řešení

V sále je 275 míst, umístěných na podlahových stupních s proměnlivou výškou. V rámci náročnosti na prostor vzduchotechniky nebylo možné rovnoměrně umístit distribuci přiváděného vzduchu do podlahových stupňů. Jediná možná distribuce je stropem, který má tvar zaoblené skořepiny podobající se poloelipse.



Obr.č.25 – Vizualizační obrázek – pohled do hlediště



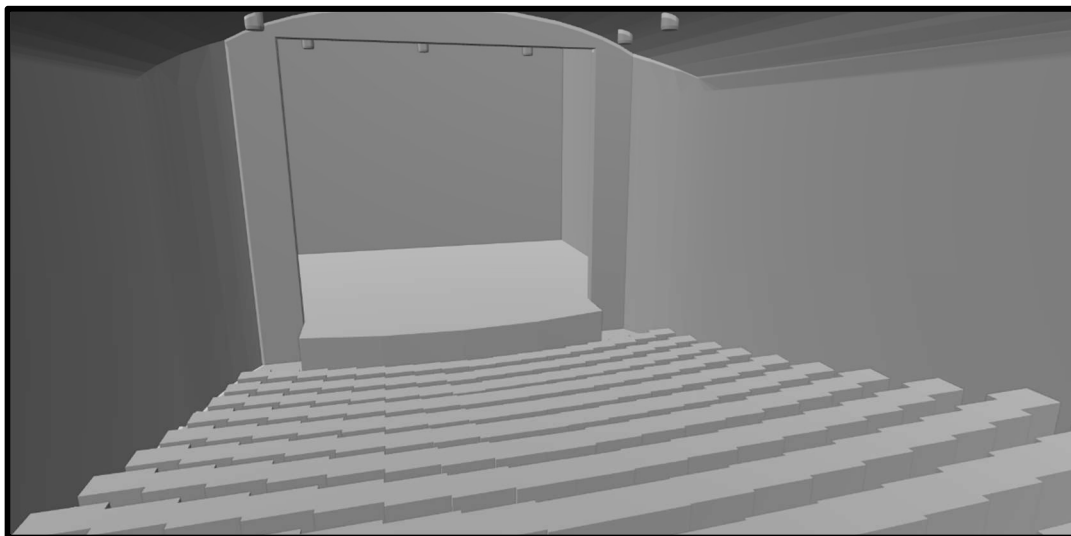
Obr.č.26 a 27 – Vizualizační obrázky – pohled z hlediště a z balkónu

2.2 Vytvoření geometrického modelu

Prvním krokem pro vytvoření simulace je geometrický 3D model řešeného objektu. Ten byl vytvořen v programu Autodesk Autocad 2017 a importován do simulačního programu Star CCM+.

Na 3D modelu je závislá výpočetní síť, počet buněk a následně doba výpočtu, a proto tvorba takového modelu vyžaduje jistá geometrická zjednodušení. Tato zjednodušení modelu jsou prediktivně volena s ohledem na reálný objekt tak, aby nebyl výrazně ovlivněn výsledek

simulace. Zároveň 3D model musí splňovat spojitost a kvalitu aby mohla být vytvořena kvalitní výpočtová síť. Různé odchylky v modelu mohou vyvolat deformaci výpočetní sítě.



Obr.č.28 – Zjednodušený 3D model importovaný do prostředí programu Star CCM+

2.3 Vytvoření výpočetní sítě

Výpočetní síť má velký vliv na kvalitu výpočtu, správnost řešení a tím i na rychlost řešení. Propojuje systém matematických vztahů s modelem. Některé výpočetní sítě mají velké nároky na výpočetní výkon, ale jejich konvergence je rychlejší a naopak. Jejich hlavním charakterem je tvar buňky, která ovlivňuje výpočetní vztahy a hlavně počet použitých rovnic. Výpočetní síť se dělí na povrchovou a objemovou. V programu star CCM+ lze použít tetrahedrální (složená z trojúhelníků), trimmer (složená ze čtyřstěnů) nebo polyhedrální (složená ze čtrnáctistěnů). Podle zvolené sítě odpovídá počet vytvořených buněk.

Mnoho buněk znamená mnoho výpočetních rovnic, a to znamená mnoho času pro výpočet. Proto musíme jejich počet zredukovat. A to vhodnou sítí a velikostí buněk. Na druhé straně jsme limitováni konvergencí řešení a potřebou vizualizace detailních výsledků. Volba konečné velikosti buněk byla stanovena po několika neúspěšných pokusech prováděných výpočtů.

U stěn, kde dochází k velkým změnám, byla vytvořena prismatická vrstva, která obsahuje větší počet buněk kolmých na plochu stěny pro přesnější výpočty.

Natavení výpočetní sítě modelu:

- Trimmer (čtyřstěn)
- Velikost objemové buňky 200mm
- Maximální velikost buňky 250mm
- Velikost povrchové buňky 20 až 100mm

2.4 Stanovení povrchových teplot

Matematický model řeší rozložení teplot v pobytové zóně a bylo nutné stanovit okrajové podmínky, které budou simulovat tepelné zisky v létě a tepelné ztráty v zimě. Pro model byly povrchové teploty, jako první varianta, převzaty z programu Teruna a Protech a jako druhá varianta vypočteny ručně za pomoci teorie 2D vedení tepla konstrukcemi. V ručním výpočtu nejsou zahrnuty vlivy osálení stěn.

2.4.1 Letní období

V letním období jsou ve venkovním prostředí vysoké teploty a dochází k velkým tepelným ziskům. Venkovní výpočtová teplota 30°C.

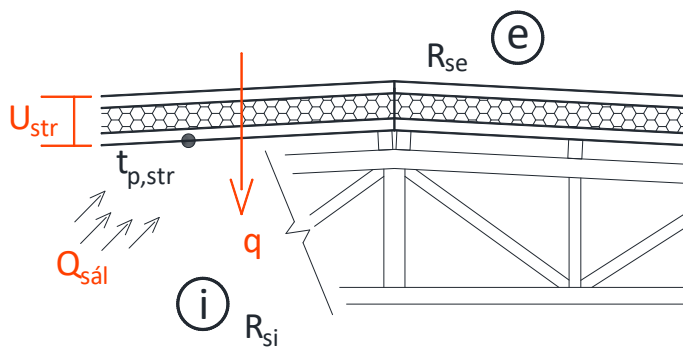
2.4.1.1 Strop

Střecha do prostředí exteriéru a je řešena plošnou skladbou položenou na dřevěných vaznicích, na kterých je zavěšený podhled.

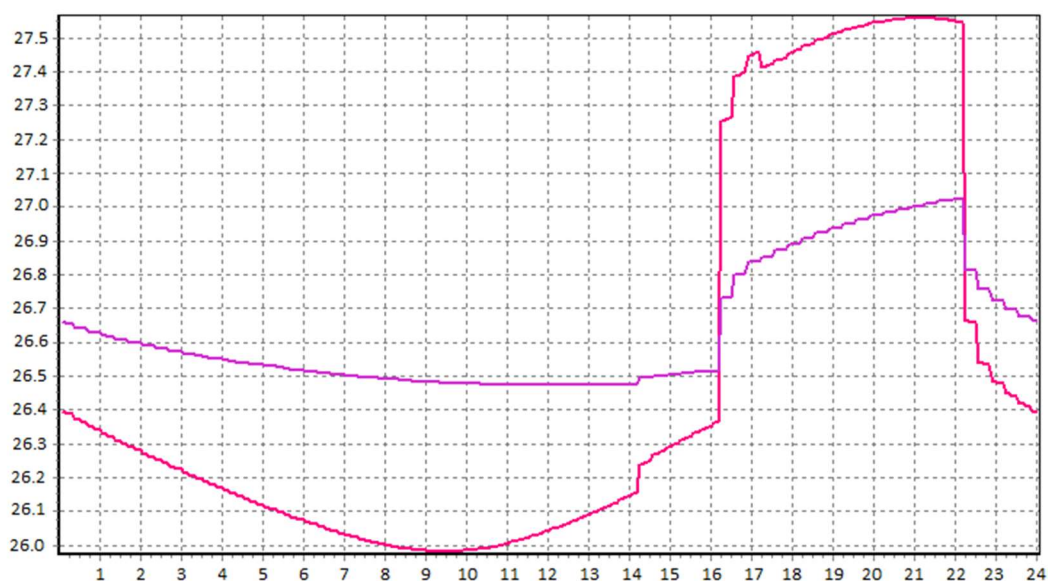
PROGRAM TERUNA:

Tab.č.4 – Skladba konstrukce střechy v programu TERUNA

VRSTVA	Tloušťka d [m]	Tepelná vodivost λ [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]
Asfaltové pásy	0,002	0,21
Tepelná izolace ISOVER	0,21	0,033
Dřevotřískové desky	0,022	0,18



Obr.č.29 – Schéma skladby konstrukce střechy pro řešení v programu TERUNA



Obr.č.30 – Graf výsledných teplot stropu v průběhu dne programu TERUNA

— Výsledná teplota vnitřního vzduchu t_i [°C]
— Teplota povrchu střešní konstrukce nad podhledem $t_{p, str}$ [°C]

Vnitřní povrchová teplota střešního pláště programu TERUNA $t_{p, str} = 27,6$ °C

RUČNÍ VÝPOČET:

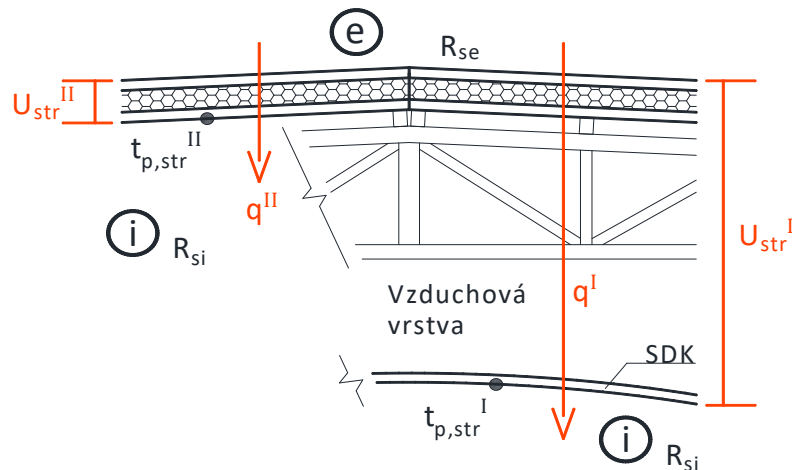
Byly provedeny dva výpočty. První je s vlivem zavěšeného podhledu a stagnujícího vzduchu mezi podhledem a střešní konstrukcí a druhý výpočet je bez vlivu podhledu, stejně jako v programu TERUNA. Vstupní parametry ručního výpočtu jsou stejné jako ve výpočtu programu TERUNA.

Vnitřní návrhová teplota vzduchu $t_i = 26,0$ °C

Venkovní výpočtová teplota vzduchu $t_e = 30,0$ °C

Tab.č.5 – Skladba konstrukce střechy ručního výpočtu

VRSTVA	Tloušťka d [m]	Tepelná vodivost λ [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]
Asfaltové pásy	0,002	0,21
Tepelná izolace ISOVER	0,21	0,033
Dřevotřískové desky	0,022	0,18
Vzduchová vrstva	2,56	0,026
SDK podhled	0,015	0,22



Obr.č.31 – Schéma skladby střechy pro ruční výpočet – letní období

S vlivem uzavřené vzduchové vrstvy a podhledu

$$\text{Tepelný odpor } R^I = \sum \frac{d_j}{\lambda_j} + R_{si} + R_{se} = \frac{0,002}{0,21} + \frac{0,21}{0,033} + \frac{0,022}{0,18} + \frac{2,56}{0,026} + \frac{0,015}{0,22} + 0,1 + 0,08$$

$$R^I = 105,21 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$$

$$\text{Součinitel prostupu tepla } U_{str}^I = \frac{1}{R} = \frac{1}{105,21} = 0,0095 \text{ W} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K}^{-1}$$

$$\text{Hustota tepelného toku } q^I = U_{str} \cdot (t_e - t_i) = 0,0095 \cdot (30 - 26) = 0,038 \text{ W/m}^2$$

$$\text{Povrchová teplota } t_{p,str}^I = t_e - (R - R_{si}) \cdot q = 30 - (105,21 - 0,1) \cdot 0,038 = 26,006 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{Povrchová teplota stropu } t_{p,str}^I = \mathbf{26,01 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

Bez vlivu uzavřené vzduchové vrstvy a podhledu

$$\text{Tepelný odpor } R^{II} = \sum \frac{d_j}{\lambda_j} + R_{si} + R_{se} = \frac{0,002}{0,21} + \frac{0,21}{0,033} + \frac{0,022}{0,18} + 0,1 + 0,08 = 6,68 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$$

$$\text{Součinitel prostupu tepla } U_{str}^{II} = \frac{1}{R} = \frac{1}{6,68} = 0,15 \text{ W} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K}^{-1}$$

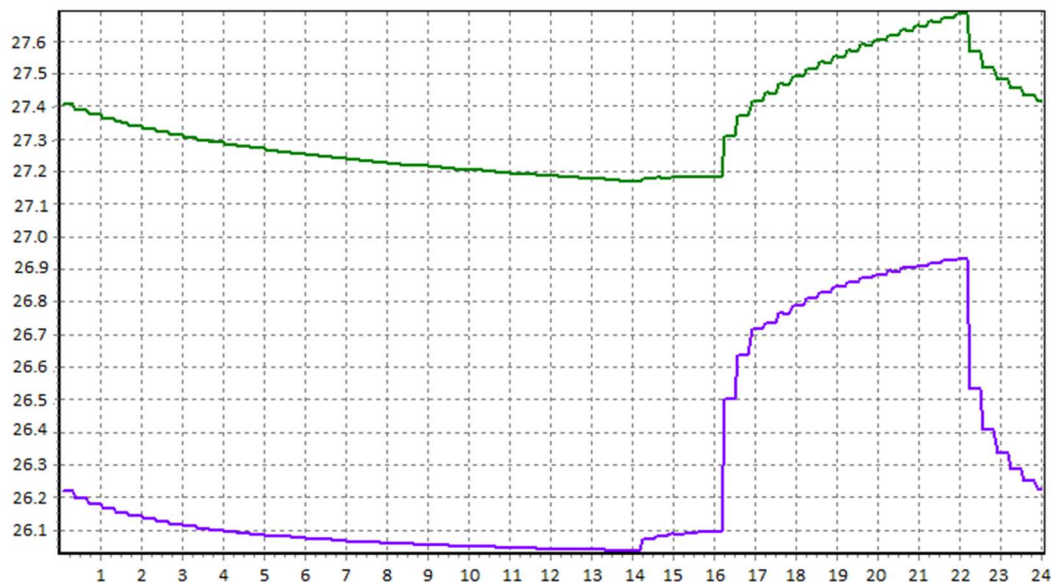
$$\text{Hustota tepelného toku } q^{II} = U_{str} \cdot (t_e - t_i) = 0,15 \cdot (30 - 26) = 0,6 \text{ W} \cdot \text{m}^2$$

$$\text{Povrchová teplota } t_{p,str}^{II} = t_e - (R - R_{si}) \cdot q = 30 - (6,68 - 0,1) \cdot 0,6 = 26,052 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{Povrchová teplota stropu } t_{p,str}^{II} = \mathbf{26,05 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

2.4.1.2 Podlaha na zemině a symetrická stěna

PROGRAM TERUNA:



Obr.č.32 – Graf výsledných teplot podlahy a symetrické stěny v průběhu dne programu TERUNA

— Teplota povrchu vnitřních stěn $t_{p,g}$ [°C]
— Teplota povrchu podlahy na zemině $t_{p,pdl}$ [°C]

Vnitřní povrchová teplota podlahy na zemině $t_{p,pdl} = 26,9$ °C

Vnitřní povrchová teplota symetrické stěny $t_{p,g} = 27,7$ °C

RUČNÍ VÝPOČET PODLAHY NA ZEMINĚ:

Vnitřní návrhová teplota vzduchu $t_i = 26,0$ °C

Výpočtová teplota zeminy $t_m = 10,0$ °C

Tab.č.6 – Skladba konstrukce podlahy na zemině ručního výpočtu – letní období

VRSTVA	Tloušťka d [m]	Tepelná vodivost λ [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]
Beton hutný	0,1	1,1
Asfaltové pásy	0,002	0,21
Tepelná izolace ISOVER	0,13	0,034
Beton hutný	0,05	1,1
Keramická dlažba	0,012	1,01

$$\text{Tepelný odpor } R = \sum \frac{d_j}{\lambda_j} + R_{si} = \frac{0,1}{1,1} + \frac{0,002}{0,21} + \frac{0,13}{0,034} + \frac{0,05}{1,1} + \frac{0,012}{1,01} + 0,17 = 4,15 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$$

$$\text{Součinitel prostupu tepla } U = \frac{1}{R} = \frac{1}{4,15} = 0,24 \text{ W} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K}^{-1}$$

$$\text{Hustota tepelného toku } q = U \cdot (t_i - t_m) = 0,24 \cdot (26 - 10) = 3,84 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$\text{Povrchová teplota } t_{p,pdl} = t_m + (R - R_{si}) \cdot q = 10 + (4,15 - 0,17) \cdot 3,84 = 25,283 \text{ °C}$$

$$\text{Povrchová teplota podlahy } t_{p,pdl} = 25,28 \text{ °C}$$

RUČNÍ VÝPOČET SYMETRICKÉ STĚNY:

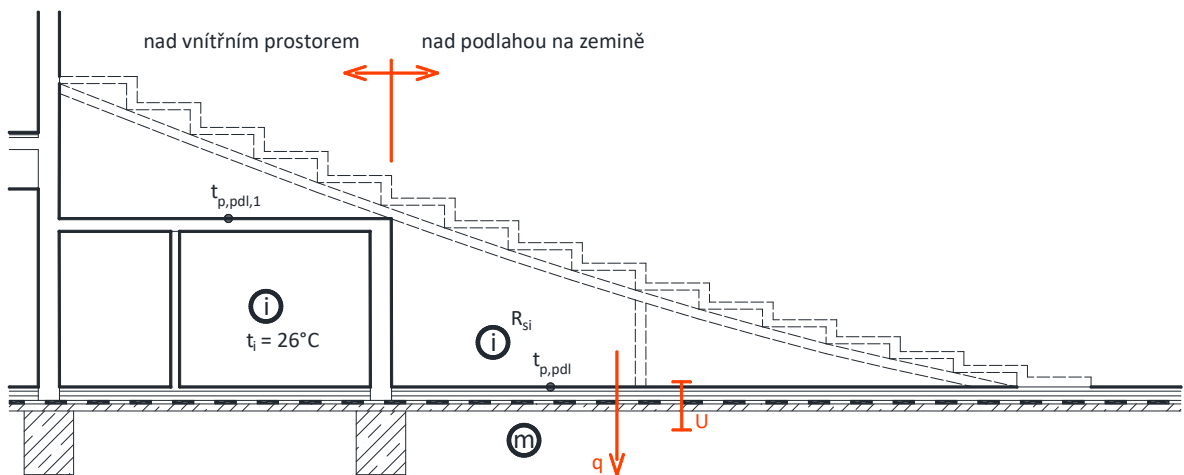
V symetrické stěně, kde je teplota vzduchu na stranách stěny stejná, je kondukční tepelný tok nulový a teplota konstantní.

Povrchová teplota symetrické stěny $t_{p,g} = 26,0\text{ °C}$

2.4.1.3 Schodnice sedadlových řad

Sedadla v hale jsou posazena na stupňovité schodnice, pod kterými vzniká zcela uzavřený, nevyužitý prostor, který je větrán maximálně spárovou průvzdušností. V zadní části pod schodnicemi je vnitřní prostor se stejnou vnitřní teplotou.

PROGRAM TERUNA:



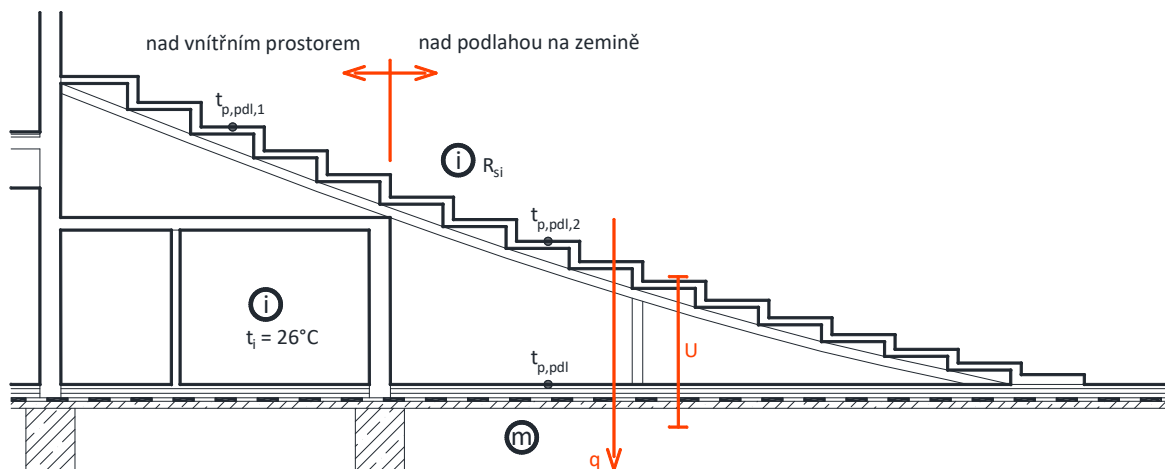
Obr.č.33 – Schéma skladby podlahy pod schodnicemi programu TERUNA

V programu byl zanedbán vliv schodnic a bylo počítáno jako podlaha na zemině a symetrická stěna.

Povrchová teplota podlahy na zemině $t_{p,pdl} = 26,9\text{ °C}$

Povrchová teplota symetrické stěny $t_{p,pdl,1} = 27,1\text{ °C}$

RUČNÍ VÝPOČET:



Obr.č.34 – Schéma skladby podlahy pod schodnicemi pro ruční výpočet – letní období

Nad vnitřním prostorem

Nedochází ke kondukci tepla a bez vlivu osálení je povrchová teplota $t_{p,pdl,1} = 26,0 \text{ °C}$

Nad podlahou na zemině

Interní výpočtová teplota $t_i = 26,0 \text{ °C}$

Teplota zeminy $t_m = 10 \text{ °C}$

Tab.č.7 – Skladba konstrukce podlahy pod schodnicemi ručního výpočtu – letní období

VRSTVA	Tloušťka d [m]	Tepelná vodivost λ [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]
Beton hutný	0,1	1,1
Asfaltové pásy	0,002	0,21
Tepelná izolace ISOVER	0,13	0,034
Beton hutný	0,05	1,1
Keramická dlažba	0,012	1,01
Vzduchová vrstva	1,29	0,026
Betonová schodnice	0,1	1,58

$$\text{Tepelný odpor } R = \sum \frac{d_j}{\lambda_j} + R_{si} = \frac{0,1}{1,1} + \frac{0,002}{0,21} + \frac{0,13}{0,034} + \frac{0,05}{1,1} + \frac{0,012}{1,01} + \frac{1,29}{0,026} + \frac{0,1}{1,58} + 0,17$$

$$R = 53,83 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$$

$$\text{Součinitel prostupu tepla } U = \frac{1}{R} = \frac{1}{53,83} = 0,019 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$\text{Hustota tepelného toku } q = U \cdot (t_i - t_m) = 0,019 \cdot (26 - 10) = 0,297 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$\text{Povrchová teplota } t_{p,pdl,2} = t_m + (R - R_{si}) \cdot q = 10 + (53,83 - 0,17) \cdot 0,297 = 25,949 \text{ °C}$$

$$\text{Povrchová teplota podlahy } t_{p,pdl,2} = 25,95 \text{ °C}$$

2.4.1.4 Souhrn povrchových teplot v hledišti

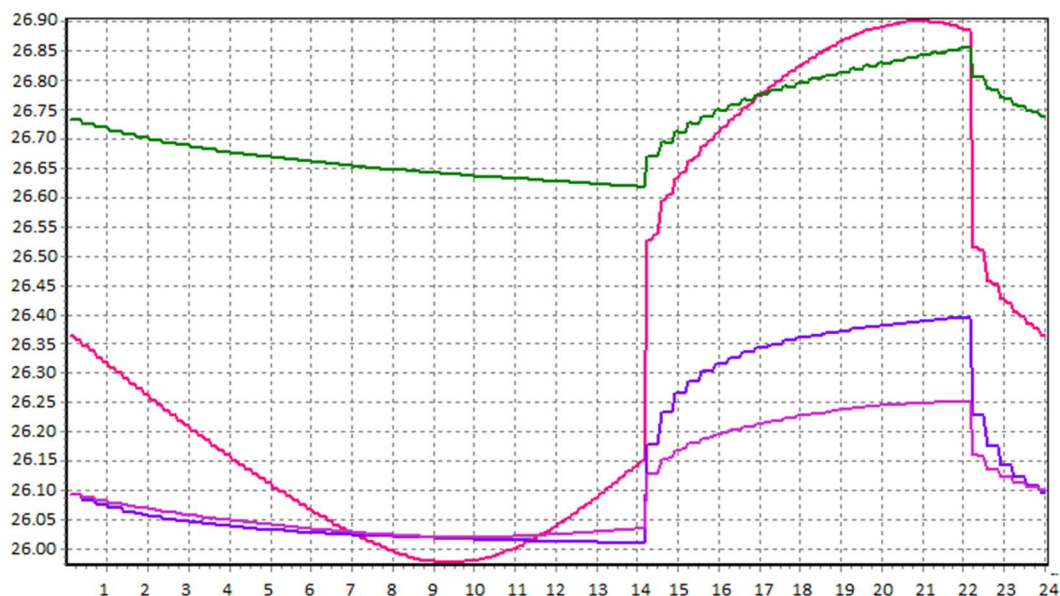
Tab.č.8 – Povrchové teploty konstrukcí v hledišti - letní období

KONSTRUKCE	Povrchová teplota ze softwaru teruna	Povrchová teplota podle ručního výpočtu	
Strop	Bez podhledu	Bez podhledu	S podhledem
	27,6 °C	26,05 °C	26,01 °C
Podlaha nad zeminou	Podlaha na zemině	Podlaha na zemině	Schodnice nad zeminou
	26,9 °C	25,28 °C	25,95 °C
Symetrická stěna	27,7 °C	26,0 °C	
Podlahové stupně nad interiérem	27,1 °C	26,0 °C	

Z výsledků je patrné, že sálavá složka v letním období má svůj vliv a je v našem zájmu s ní uvažovat. V programu teruna byly provedeny úpravy konstrukcí, které výsledek ovlivní minimálně ale na stranu bezpečnou, pro snadnější výpočet a proto pro model byly zvoleny vyšší teploty povrchu, včetně osálení, z programu TERUNA.

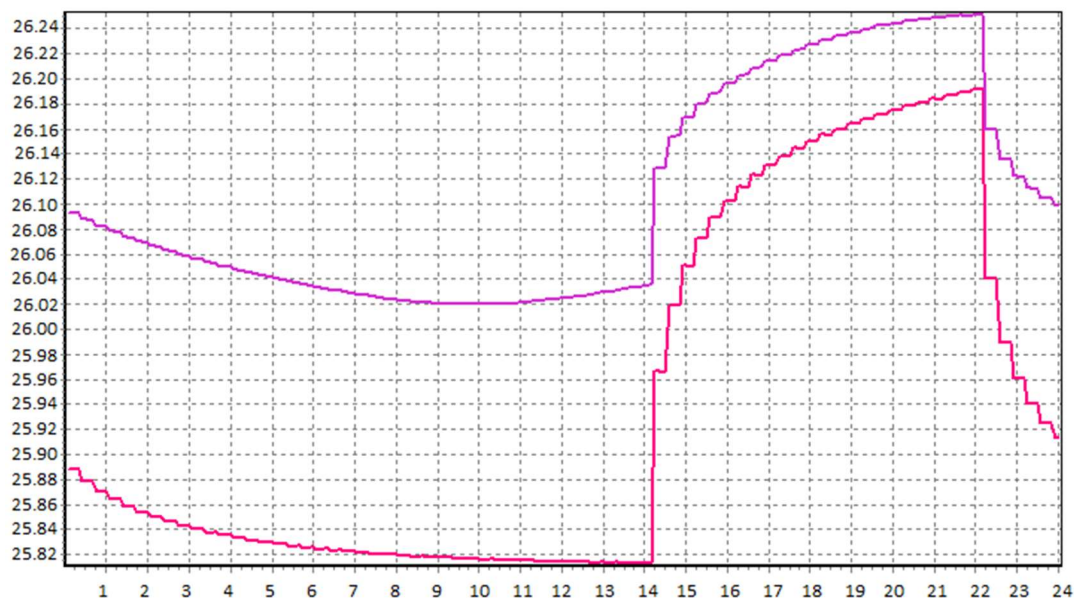
2.4.1.5 Povrchové teploty jeviště

Povrchové teploty konstrukcí jeviště byly převzaty z programu TERUNA



Obr.č.35 – Graf výsledných teplot povrchů jeviště v průběhu dne programu TERUNA

- Teplota povrchu vnitřních stěn $t_{p,g}$ [°C]
- Teplota povrchu podlahy na zemině $t_{p,pdl}$ [°C]
- Teplota povrchu stropu $t_{p,str}$ [°C]
- Výsledná teplota vnitřního vzduchu t_i [°C]



Obr.č.36 – Graf výsledných teplot povrchu vnější stěny jeviště v průběhu dne programu TERUNA

— Teplota povrchu vnější stěny $t_{p,hg}$ [°C]
— Výsledná teplota vnitřního vzduchu t_i [°C]

Vnitřní teplota vzduchu $t_i = 26,0$ °C

Vnitřní povrchová teplota vnitřních stěn $t_{p,g} = 26,85$ °C

Vnitřní povrchová teplota podlahy $t_{p,pdl} = 26,4$ °C

Vnitřní povrchová teplota stropu $t_{p,str} = 26,9$ °C

Vnitřní povrchová teplota vnější stěny $t_{p,e} = 26,2$ °C

2.4.1.6 Citelné zisky osob

Aby byl postihnout co nejextrémnější stav v letním období, je nutné počítat s maximálním obsazením sedacích míst v divadelním sále. Lidský organismus vyprodukuje značné množství tepla a vodní páry.

Citelný zisk osoby sedící odpočívající $q_{l,1} \cong 60$ W

V sále počet sedadel $n = 275$ ks

Celkový citelný zisk $q_l = q_{l,1} \cdot n = 60 \cdot 275 = 16500$ W

2.4.2 Zimní období

V zimním období jsou nízké teploty venkovního prostředí, které způsobují tepelné ztráty. Venkovní výpočtová teplota -15°C.

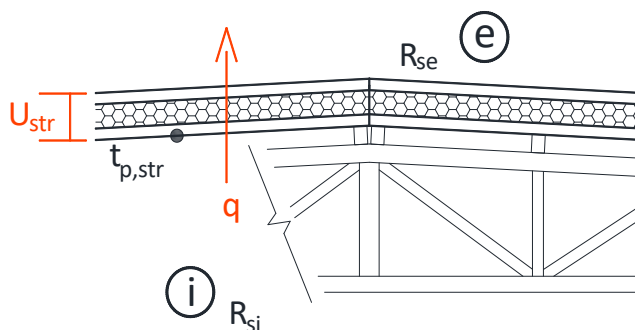
2.4.2.1 Strop

Střecha do prostředí exteriéru a je řešena plošnou skladbou položenou na dřevěných vaznících, na kterých je zavěšený podhled.

PROGRAM PROTECH:

Tab.č.9 – Skladba konstrukce střechy v programu PROTECH

VRSTVA	Tloušťka d [m]	Tepelná vodivost λ [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]
Asfaltové pásy	0,002	0,21
Tepelná izolace ISOVER	0,21	0,033
Dřevotřískové desky	0,022	0,18



Obr.č.37 – Schéma skladby konstrukce střechy pro řešení v programu PROTECH

Vnitřní povrchová teplota střešního pláště $t_{p,str} = 19,5\text{ °C}$

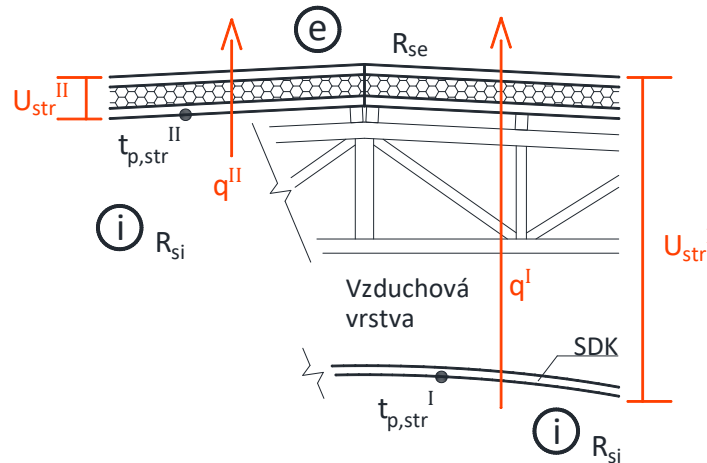
RUČNÍ VÝPOČET:

Vnitřní návrhová teplota $t_i = 20,0\text{ °C}$

Venkovní návrhová teplota $t_e = -15,0\text{ °C}$

Tab.č.10 – Skladba konstrukce střechy ručního výpočtu

VRSTVA	Tloušťka d [m]	Tepelná vodivost λ [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]
Asfaltové pásy	0,002	0,21
Tepelná izolace ISOVER	0,21	0,033
Dřevotřískové desky	0,022	0,18
Vzduchová vrstva	2,56	0,026
SDK podhled	0,015	0,22



Obr.č.38 – Schéma skladby střechy pro ruční výpočet - zimní období

S vlivem uzavřené vzduchové vrstvy a podhledu

$$\text{Tepelný odpor } R^I = \sum \frac{d_j}{\lambda_j} + R_{si} + R_{se} = \frac{0,002}{0,21} + \frac{0,21}{0,033} + \frac{0,022}{0,18} + \frac{2,56}{0,026} + \frac{0,015}{0,22} + 0,1 + 0,04$$

$$R^I = 105,17 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$$

$$\text{Součinitel prostupu tepla } U_{str}^I = \frac{1}{R^I} = \frac{1}{105,17} = 0,0095 \text{ W} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K}^{-1}$$

$$\text{Hustota tepelného toku } q^I = U_{str}^I \cdot (t_i - t_e) = 0,0095 \cdot (20 + 15) = 0,333 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$\text{Povrchová teplota } t_p = t_e + (R^I - R_{si}) \cdot q^I = -15 + (105,17 - 0,1) \cdot 0,333 = 19,97 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{Povrchová teplota stropu } t_{p,str}^I = 19,97 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Bez vlivu uzavřené vzduchové vrstvy a podhledu

$$\text{Tepelný odpor } R^{II} = \sum \frac{d_j}{\lambda_j} + R_{si} + R_{se} = \frac{0,002}{0,21} + \frac{0,21}{0,033} + \frac{0,022}{0,18} + 0,1 + 0,04 = 6,64 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$$

$$\text{Součinitel prostupu tepla } U_{str}^{II} = \frac{1}{R^{II}} = \frac{1}{6,64} = 0,1507 \text{ W} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K}^{-1}$$

$$\text{Hustota tepelného toku } q^{II} = U_{str}^{II} \cdot (t_i - t_e) = 0,1507 \cdot (20 + 15) = 5,27 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$\text{Povrchová teplota } t_p = t_e + (R^{II} - R_{si}) \cdot q^{II} = -15 + (6,64 - 0,1) \cdot 5,27 = 19,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{Povrchová teplota stropu } t_{p,str}^I = 19,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

2.4.2.2 Podlaha na zemině a symetrická stěna

PROGRAM PROTECH:

$$\text{Povrchová teplota podlahy na zemině } t_{p,pdl} = 19,4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{Povrchová teplota vnitřní symetrické stěny } t_{p,g} = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$$

RUČNÍ VÝPOČET PODLAHY NA ZEMINĚ:

Vnitřní výpočtová teplota $t_i = 20,0 \text{ °C}$

Výpočtová teplota zeminy $t_m = 5,0 \text{ °C}$

Tab.č.11 – Skladba konstrukce podlahy na zemině ručního výpočtu – zimní období

VRSTVA	Tloušťka d [m]	Tepelná vodivost λ [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]
Beton hutný	0,1	1,1
Asfaltové pásy	0,002	0,21
Tepelná izolace ISOVER	0,13	0,034
Beton hutný	0,05	1,1
Keramická dlažba	0,012	1,01

$$\text{Tepelný odpor } R = \sum \frac{d_j}{\lambda_j} + R_{si} = \frac{0,1}{1,1} + \frac{0,002}{0,21} + \frac{0,13}{0,034} + \frac{0,05}{1,1} + \frac{0,012}{1,01} + 0,17 = 4,15 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$$

$$\text{Součinitel prostupu tepla } U = \frac{1}{R} = \frac{1}{4,15} = 0,24 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$$

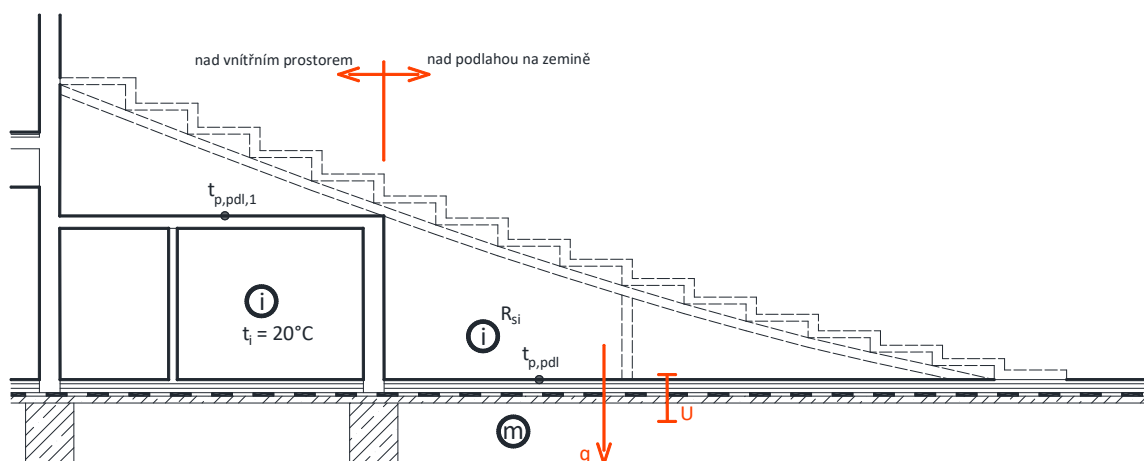
$$\text{Hustota tepelného toku } q = U \cdot (t_i - t_m) = 0,24 \cdot (20 - 5) = 3,61 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$\text{Povrchová teplota } t_{p,pdl} = t_m + (R - R_{si}) \cdot q = 5 + (4,15 - 0,17) \cdot 3,61 = 19,38 \text{ °C}$$

$$\text{Povrchová teplota podlahy } t_{p,pdl} = 19,38 \text{ °C}$$

2.4.2.3 Schodnice sedadlových řad

PROGRAM PROTECH:



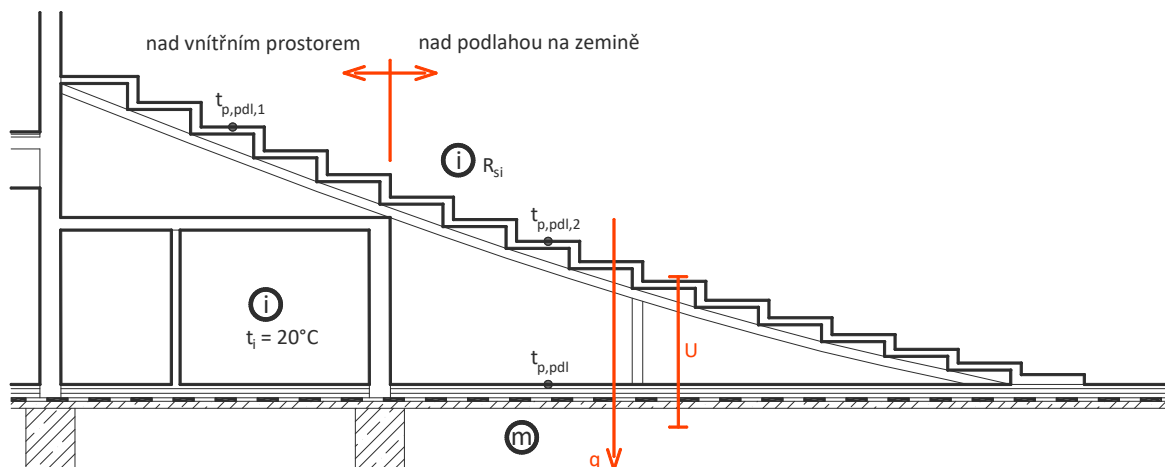
Obr.č.39 – Schéma skladby podlahy pod schodnicemi programu PROTECH

V programu byl zanedbán vliv schodnic a bylo počítáno jako podlaha na zemině a symetrická stěna.

$$\text{Povrchová teplota podlahy na zemině } t_{p,pdl} = 19,4 \text{ °C}$$

$$\text{Povrchová teplota symetrických stěn } t_{p,pdl,1} = 20,0 \text{ °C}$$

RUČNÍ VÝPOČET:



Obr.č.40 – Schéma skladby podlahy pod schodnicemi pro ruční výpočet – zimní období

Nad vnitřním prostorem

Nedochází ke kondukci tepla a povrchová teplota je $t_{p,pdl,1} = 20,0 \text{ °C}$

Nad podlahou na zemině

Interní výpočtová teplota $t_i = 20,0 \text{ °C}$

Teplota zeminy $t_m = 5 \text{ °C}$

Tab.č.12 – Skladba konstrukce podlahy pod schodnicemi ručního výpočtu – zimní období

VRSTVA	Tloušťka d [m]	Tepelná vodivost λ [W/m·K]
Beton hutný	0,1	1,1
Asfaltové pásy	0,002	0,21
Tepelná izolace ISOVER	0,13	0,034
Beton hutný	0,05	1,1
Keramická dlažba	0,012	1,01
Vzduchová vrstva	1,29	0,026
Betonová schodnice	0,1	1,58

$$\text{Tepelný odpor } R = \sum \frac{d_j}{\lambda_j} + R_{si} = \frac{0,1}{1,1} + \frac{0,002}{0,21} + \frac{0,13}{0,034} + \frac{0,05}{1,1} + \frac{0,012}{1,01} + \frac{1,29}{0,026} + \frac{0,1}{1,58} + 0,17$$

$$R = 53,83 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$$

$$\text{Součinitel prostupu tepla } U = \frac{1}{R} = \frac{1}{53,83} = 0,02 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$\text{Hustota tepelného toku } q = U \cdot (t_i - t_m) = 0,02 \cdot (20 - 5) = 0,279 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$\text{Povrchová teplota } t_{p,podl,2} = t_m + (R - R_{si}) \cdot q = 5 + (53,83 - 0,17) \cdot 0,279 = 19,97 \text{ °C}$$

$$\text{Povrchová teplota podlahy } t_{p,podl,2} = 19,97 \text{ °C}$$

2.4.2.4 Souhrn povrchových teplot v hledišti

Tab.č.13 – Povrchové teploty konstrukcí v hledišti – zimní období

KONSTRUKCE	Povrchová teplota z programu protech	Povrchová teplota podle ručního výpočtu	
Strop	Bez podhledu	Bez podhledu	S podhledem
	19,5 °C	19,5 °C	19,97 °C
Podlaha nad zeminou	Podlaha na zemině	Podlaha na zemině	Podlahové stupně nad podlahou na zemině
	19,4 °C	19,38 °C	19,97 °C
Symetrická stěna	20,0 °C	20,0 °C	
Podlahové stupně nad interiérem	20,0 °C	20,0 °C	

V programu PROTECH byly některé konstrukce zjednodušeny a výsledky povrchových teplot jsou si podobné s výsledky ručního výpočtu při uvažování stejných skladeb konstrukcí. Pro model byly zvoleny nižší povrchové teploty z programu na stranu bezpečnou.

2.4.2.5 Povrchové teploty jeviště

Povrchové teploty jeviště v zimním období byly převzaty z programu PROTECH.

Vnitřní teplota vzduchu $t_i = 20,0 \text{ °C}$

Vnitřní povrchová teplota okolních stěn do interiéru $t_{p,g} = 20 \text{ °C}$

Vnitřní povrchová teplota podlahy $t_{p,pdl} = 19,4 \text{ °C}$

Vnitřní povrchová teplota stropu $t_{p,str} = 19,5 \text{ °C}$

Vnitřní povrchová teplota vnější stěny $t_{p,hg} = 19,3 \text{ °C}$

2.5 Nastavení fyziky modelu

Jakmile je vytvořena výpočetní síť, je nutné nastavit jednotlivé fyzikální modely, které popisují fyzikální zákony. Je nutné vybrat modely, které mají na danou problematiku vliv a jejich absence by mohla způsobit výsledky, které nebudou v souladu se skutečností. Déle je vhodné nevybírat modely, které na danou problematiku nemají vliv a ušetřit tak výpočetní čas.

Pro simulaci řešeného případu byly nastaveny následující fyzikální modely:

- Two-Layer All y + Wall Treatment
- Turbulent
- Three Dimensional
- Steady
- Segregated Fluid Temperature
- Segregated Flow
- Reynolds-Averaged Navier-Stokes
- Realizable K-Epsilon Two-Layer
- K-Epsilon Turbulence
- Ideal Gas
- Gravity
- Gradients
- Gas
- Exact Wall Distance
- Cell Quality Remediation

2.5.1 Okrajové podmínky

Simulace řeší optimalizaci teplovzdušného vytápění a chlazení pro návrhový stav v zimě i v létě.

Tepelný výkon klimatických podmínek

Pro simulování tepelného výkonu byly vypočteny a nastaveny teploty povrchů, které jsou popsány v kapitole 2.4.

Tepelný výkon lidí

V letním období je nejvíce nepříznivý okamžik při zaplnění celého divadelního sálu lidmi. Proto je nutné simulovat jejich tepelné zisky. Pro zahrnutí těchto zisků byly v modelu vytvořeny plochy, pro které je nastavený určitý výkon.

Počet míst v sále $n = 275$ ks

Výkon jednoho člověka $q_i = 60$ W

Celkový výkon $Q = q_i \cdot n = 60 \cdot 275 = 16\,500$ W

Plocha v modelu reprezentující diváky $S = 420,38$ m²

Výkon na metr plochy zadaný v modelu $q = Q/S = 16\,500/420,38 = 39,25$ W/m²

Průtok vzduchu

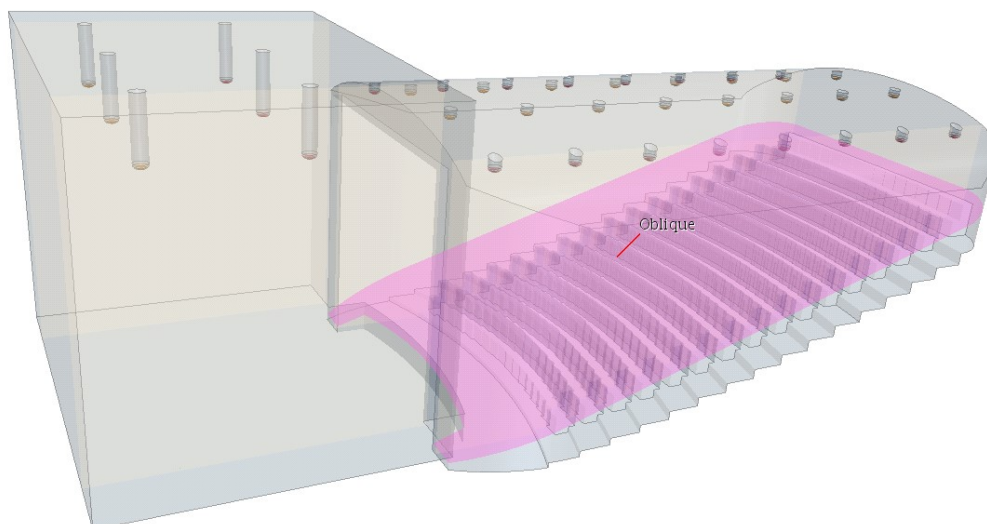
Přívodní vyústky jsou nastaveny podmínkou velocity inlet s vypočtenou rychlostí, které jsou podrobně popsány v části jednotlivých variant, a s požadovanou teplotou pro pokrytí tepelných ztrát v zimě a tepelných zisků v létě.

Odvodní vyústky jsou nastaveny podmínkou pressure outlet.

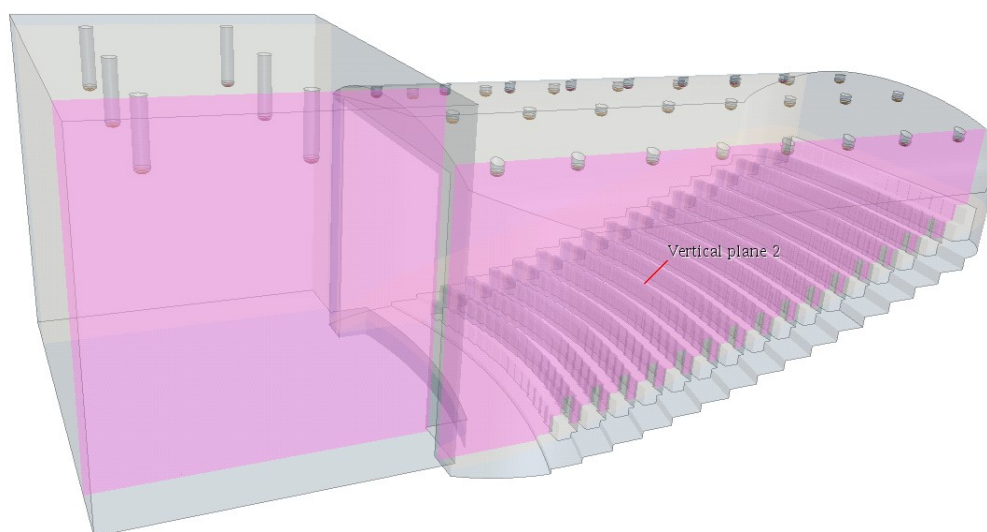
2.6 Vizualizace výsledků

Abychom si mohli výsledky snadno zobrazit a dobře se v nich orientovat, je zapotřebí vytvořit referenční řezné roviny, ve kterých je důležité pozorovat výsledky teplot a rychlostí. Byly vytvořeny důležité řezné roviny v oblasti pobytové zóny diváků a příčné řezné roviny ve směru proudění vzduchu z vyústek.

Pro jednotlivé řezné roviny byly vytvořeny skalární a vektorové pole výsledných teplot a rychlostí, na kterých se vyšetřuje průměrná rychlost, maximální rychlost, průměrná teplota případně velmi vysoká/nízká teplota.



Obr.č.41 – Vyšetřovací řezná rovina v pobytové zóně

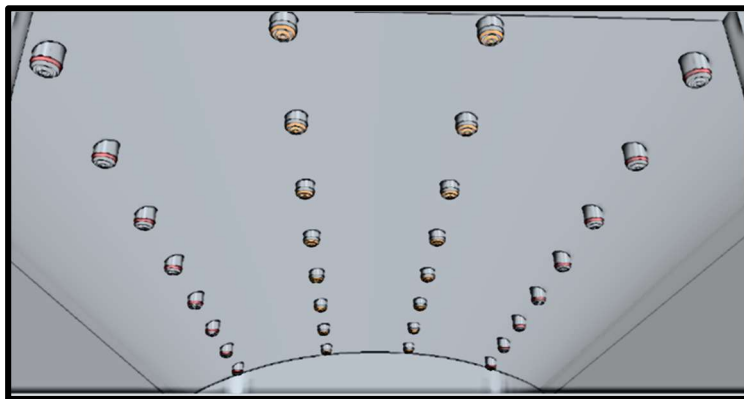


Obr.č.42 – Svislá řezná rovina v ose vyústek

2.7 Simulace původního návrhu

2.7.1 Popis návrhu

Jedná se o teplovzdušné vytápění a chlazení s vlhčením vzduchu, které zajišťuje jedna centrální vzduchotechnická jednotka a obsluhuje celou divadelní halu. Koncové distribuční elementy jsou kruhové vířivé difuzory ve stropní konstrukci jak v hledišti, tak i v jevišti. Průtoky vzduchu a teploty přiváděného vzduchu jsou navrženy tak, aby pokryly tepelné ztráty a zisky a zároveň přivedly dostatečné množství čerstvého vzduchu pro plně zaplněné hlediště diváků. Distribuční elementy jsou umístěny v podhledu.



Obr.č.43 – Model kruhových difuzorů

Množství přiváděného vzduchu pro hlediště:	8875 m ³ /h
Množství přiváděného vzduchu pro jeviště:	2675 m ³ /h
Teplota přiváděného vzduchu v zimě:	22,4 °C
Teplota přiváděného vzduchu v létě:	20 °C

2.7.2 Stanovení rychlostních profilů výustek

V modelu jsou vymodelované výustky, které mají svojí volnou plochu, ze které bude proudit vzduch. Aby proud vzduchu bylo možné zadat do simulace, je zapotřebí vyčíslit výstupní rychlost vzduchu z ploch výustek podle požadovaného průtoku. Výpočet rychlostí je proveden podle zákona zachování hmoty (rovnice kontinuity).

Jako původní stav jsou navrženy kruhové difuzory. Výustky mají dva režimy. V létě vytváří radiální proud a v zimě kompaktní vířivý proud.

HLEDIŠTĚ – LETNÍ OBDOBÍ:

Počet výustek $n = 16$ ks

Průměr jedné výustky $d = 315$ mm

Celkový průtok vzduchu pro hlediště $V_c = 8875$ m³/h

Volná plocha jedné výustky radiálního výstupu $S = 0,0618$ m²

Průtok jednou výustkou $V = \frac{V_c}{n} = \frac{8875/3600}{16} = 0,154$ m³/s

Rychlost na volné radiální ploše výustky $w = \frac{V}{S} = \frac{0,154}{0,0618} = 2,49$ m/s

JEVIŠTĚ – LETNÍ OBDOBÍ:

Počet výústek $n = 3$ ks

Průměr jedné vyústky $d = 315$ mm

Celkový průtok vzduchu pro hlediště $V_c = 2675$ m³/h

Volná plocha jedné vyústky radiálního výstupu $S = 0,0618$ m²

Průtok jednou vyústkou $V = \frac{V_c}{n} = \frac{2675/3600}{3} = 0,248$ m³/s

Rychlost na volné radiální ploše vyústky $w = \frac{V}{S} = \frac{0,248}{0,0618} = 4,01$ m/s

HLEDIŠTĚ – ZIMNÍ OBDOBÍ:

Počet výústek $n = 16$ ks

Průměr jedné vyústky $d = 315$ mm

Celkový průtok vzduchu pro hlediště $V_c = 8875$ m³/h

Volná plocha jedné vyústky kompaktního výstupu $S = 0,0696$ m²

Průtok jednou vyústkou $V = \frac{V_c}{n} = \frac{8875/3600}{16} = 0,154$ m³/s

Rychlost na volné radiální ploše vyústky $w = \frac{V}{S} = \frac{0,154}{0,0696} = 2,21$ m/s

JEVIŠTĚ – ZIMNÍ OBDOBÍ:

Počet výústek $n = 3$ ks

Průměr jedné vyústky $d = 315$ mm

Celkový průtok vzduchu pro hlediště $V_c = 2675$ m³/h

Volná plocha jedné vyústky kompaktního výstupu $S = 0,0696$ m²

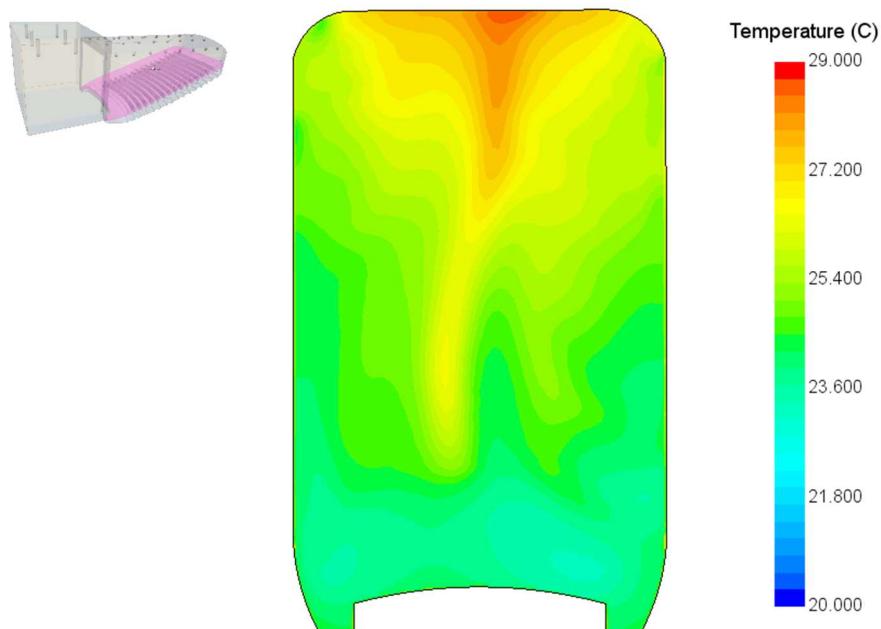
Průtok jednou vyústkou $V = \frac{V_c}{n} = \frac{2675/3600}{3} = 0,248$ m³/s

Rychlost na volné radiální ploše vyústky $w = \frac{V}{S} = \frac{0,248}{0,0696} = 3,56$ m/s

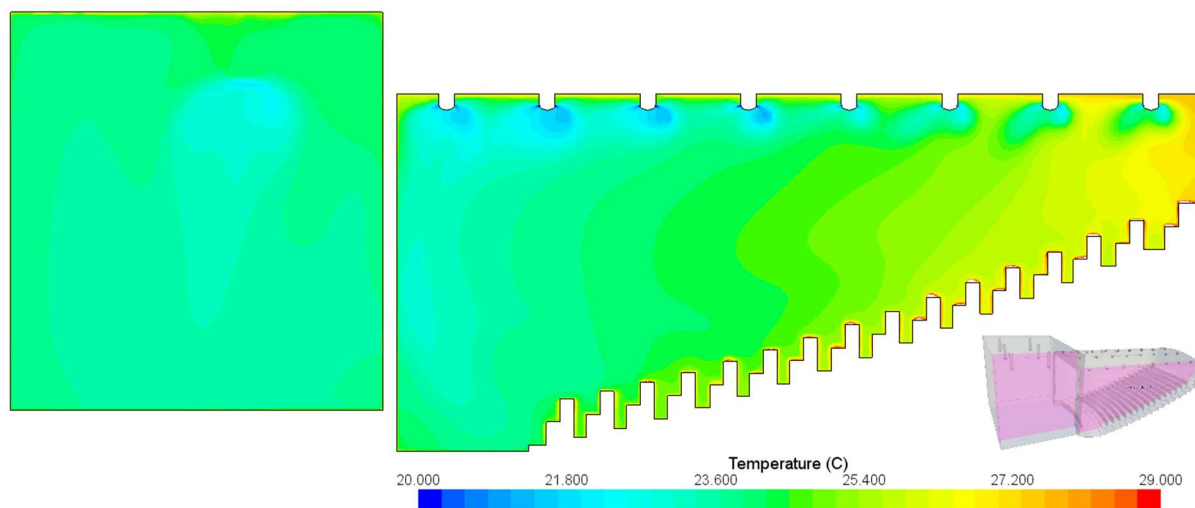
2.7.3 Výsledky simulace původního stavu

2.7.3.1 Letní období

TEPLOTNÍ POLE



Obr.č.44 – Teplotní pole šikmého vyšetřovacího řezu v pobytové zóně – původní stav letní období



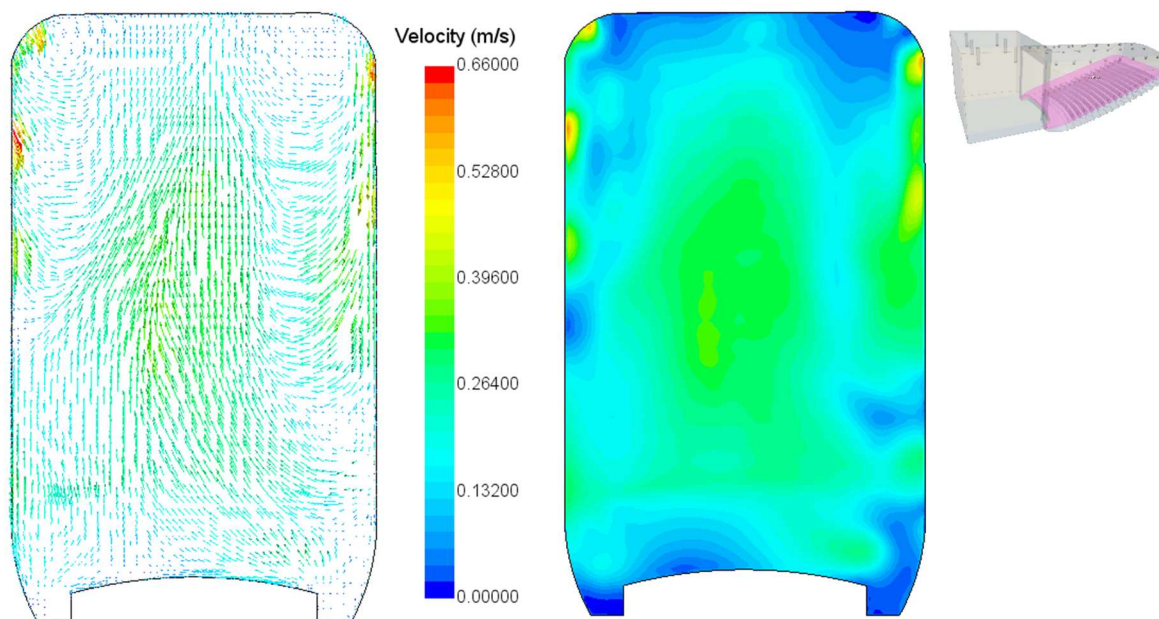
Obr.č.45 – Teplotní pole svislého řezu – původní stav letní období

Svislá řezná rovina je ve výšce hlav sedících lidí a je určující pro posouzení vlivu teploty na člověka a jeho tepelnou pohodu.

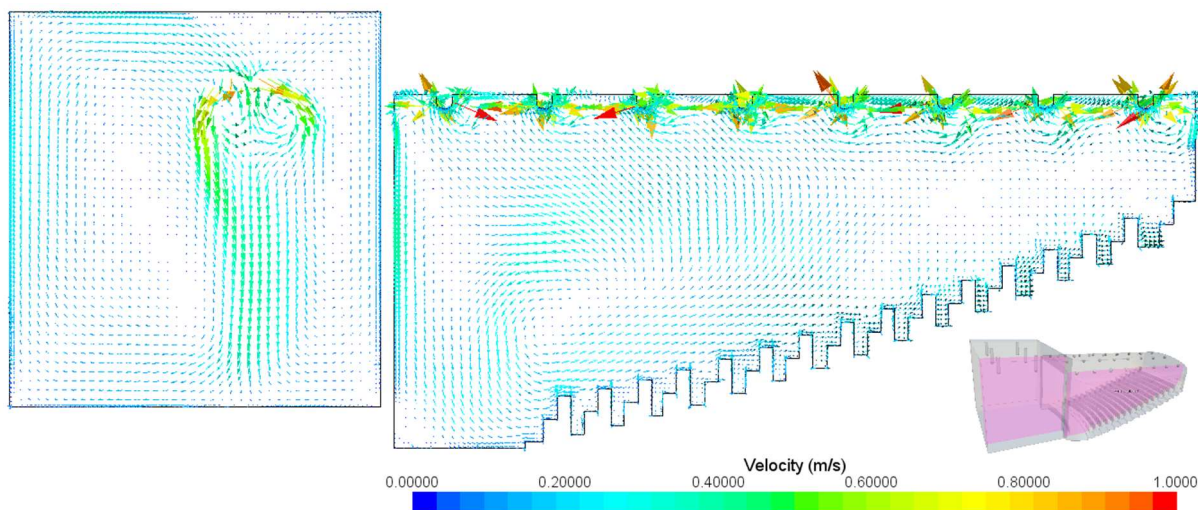
Maximální dosažená teplota:	28,7 °C
Minimální dosažená teplota:	23,3 °C
Průměrná teplota:	25,2 °C

Průměrná teplota je vyhovující a blíží se k navrhované hodnotě 26°C, ale jak je z obrázků simulace patrné, je rozložení teplot velmi nerovnoměrné. Vzniká velký teplotní rozdíl mezi horní a spodní částí hlediště. Z obrázku je patrná advekce teplých proudů do horní části hlediště v důsledku gravitačních vztlakových sil. Z metabolismu sedících osob se navíc uvolňuje biologické teplo, které tomuto vztlakovému efektu napomáhá.

RYCHLOSTNÍ POLE



Obr.č.46 – Rychlostní pole šikmého vyšetřovacího řezu v pobytové zóně – původní stav letní období



Obr.č.47 – Rychlostní pole svislého řezu – původní stav letní období

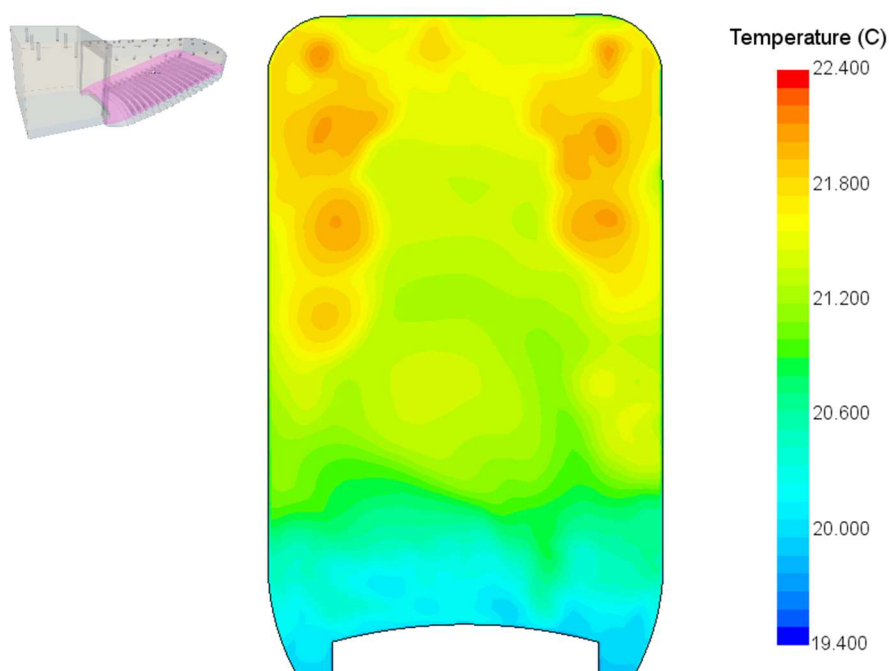
Svislá řezná rovina je ve výšce hlav sedících lidí a je určující pro posouzení vlivu rychlosti a průvanu na člověka.

Maximální dosažená rychlost:	0,62 m/s
Maximální dosažená rychlost v pobytové zóně:	0,35 m/s
Průměrná rychlost:	0,21 m/s

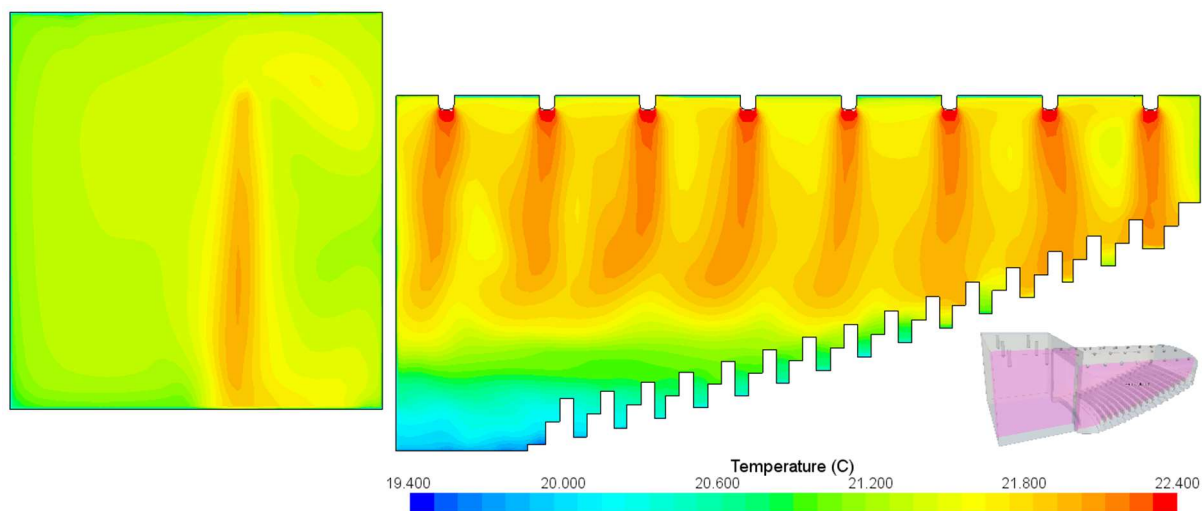
Z výsledného obrázku lze vypožorovat vyšší nárůst rychlosti pouze v blízkosti stěn, které jsou způsobeny pádem chladného vzduchu k zemi. Vyústky chladný vzduch foukají radiálně, který proudí podél stropu, jakmile narazí na stěnu, vlivem gravitace padá dolů a vytěsňuje teplejší vzduch. Dále lze vidět zvýšené proudění vzduchu ohřátého o biologické teplo lidí, který stoupá směrem nahoru a způsobuje zvýšené rychlosti.

2.7.3.2 Zimní období

TEPLOTNÍ POLE



Obr.č.48 – Teplotní pole šikmého vyšetřovacího řezu v pobytové zóně – původní stav zimní období

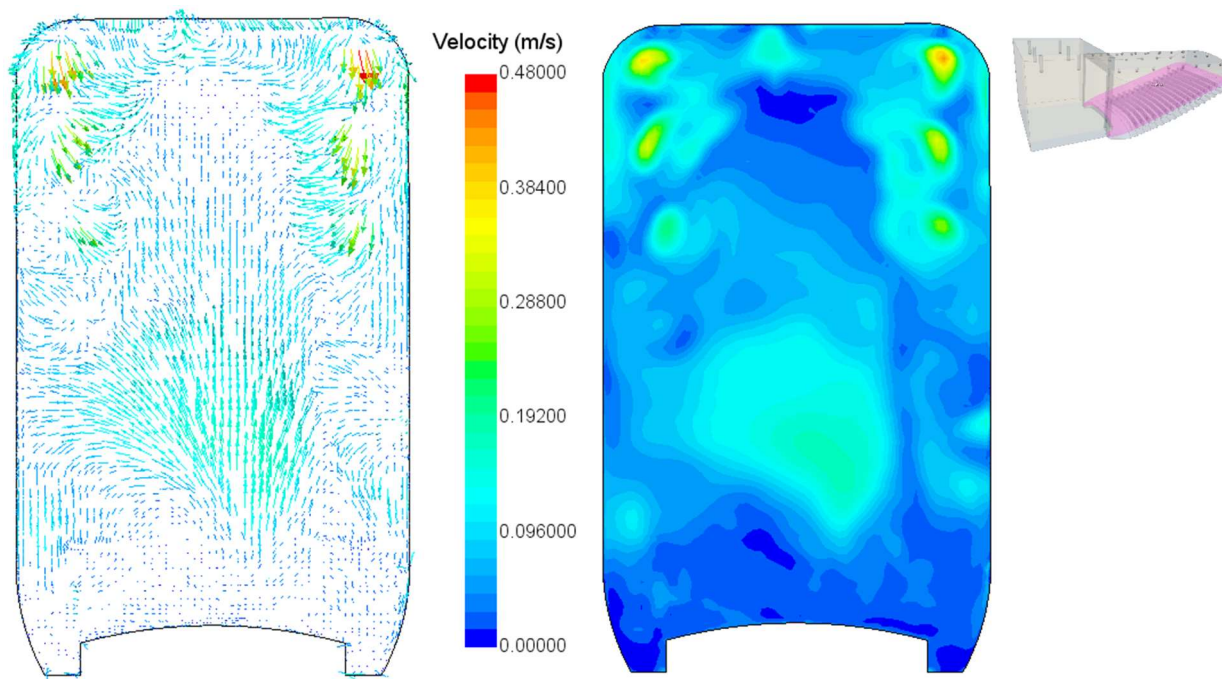


Obr.č.49 – Teplotní pole svislého řezu – původní stav zimní období

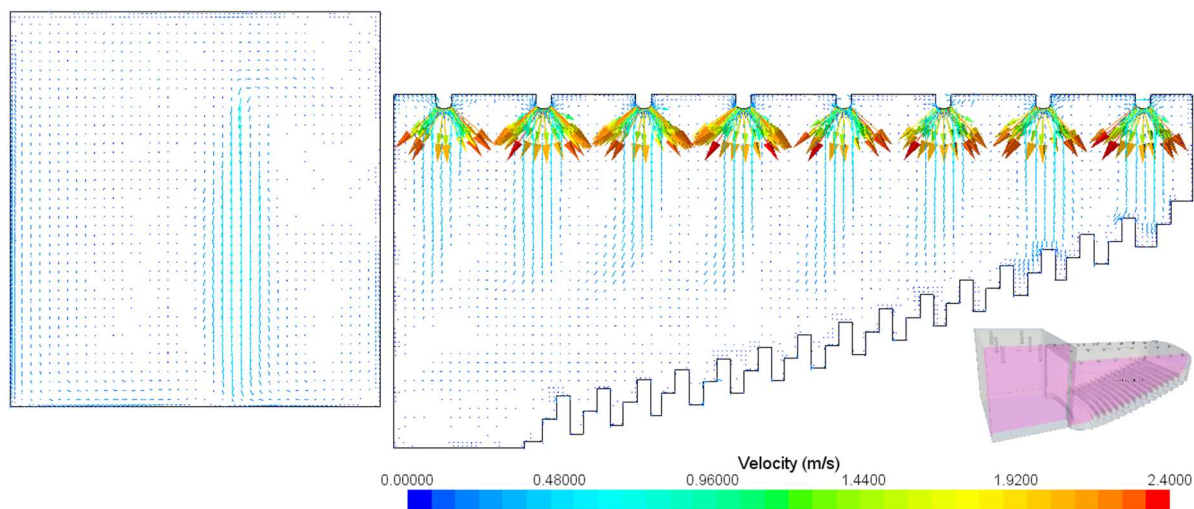
Maximální dosažená teplota: 22,2 °C
Minimální dosažená teplota: 19,9 °C
Průměrná teplota: 21,2 °C

V zimním období nastává stejný problém jako v letním a to nerovnoměrnost rozložení teplot v pobytové zóně. Největším problémem je rozdílná výška mezi vyústkou a pobytovou zónou. V horní části, kde je výška velmi malá, vstupuje do zóny pobytu vzduch s vysokým potenciálem teploty, zatím co v dolní části, kde je vysoká výška, k míšení vzduchu s přívodním proudem ani nedojde.

RYCHLOSTNÍ POLE



Obr.č.50 – Rychlostní pole šikmého vyšetřovacího řezu v pobytové zóně – původní stav zimní období



Obr.č.51 – Rychlostní pole svislého řezu – původní stav zimní období

Maximální dosažená rychlost v pobytové zóně: 0,48 m/s
Průměrná rychlost: 0,08 m/s

Z výsledků je patrné, že v zimním období je stejný průtok všemi vyústkami v hale s proměnlivou výškou nevyhovující. V horní části jsou v pobytové zóně dosaženy vysoké rychlosti a do pobytové zóny v dolní části se přívodní vzduch ani nedostane.

2.7.4 Vyhodnocení původního stavu

LETNÍ OBDOBÍ

Přesto, že průměrná teplota je vyhovující, tak jsou zde velké lokální odchylky teplot, které jsou nežádoucí, a je zde riziko velkého procenta nespokojených lidí ohledně teplotní pohody. Vzhledem k tomu, že vysoká rychlost vzduchu se vyskytuje jenom na pár místech u stěn, kde se žádný člověk nebude dlouho zdržovat, lze prohlásit průměrnou hodnotu 0,21 m/s jako vyhovující.

Teplota – **Nevyhovuje** – velké rozdíly teplot, maximum až 28,7 °C.

Rychlost – **Vyhovuje** – v místech trvalého pobytu vyhovujících 0,21 m/s.

ZIMNÍ OBDOBÍ

V zimním období je problém nejenom s rozložením teplot, ale i s rozložením rychlostních profilů. Lidé sedící v horních a dolních řadách by měli nevyhovující podmínky pro komfortní mikroklima.

Teplota – **Nevyhovuje** – velké rozdíly teplot, nízké teploty až 19,4 °C.

Rychlost – **Nevyhovuje** – v místech trvalého pobytu vysoké rychlosti až 0,49 m/s.

ZÁVĚR VARIANTY

Varianta **nevyhovuje** a je nutno navrhnout opatření nebo vhodnější distribuci.

2.8 Simulace druhé varianty – regulace na různé průtoky

2.8.1 Popis návrhu

Tato varianta vychází z nedostatků původní varianty. Distribuční elementy a jejich poloha je zachována beze změny a pro optimalizaci parametrů v pobytové zóně je regulovaný průtok jednotlivými vyústkami. Vyústky v hledišti jsou rozděleny na dvě skupiny, 8 horních a 8 dolních, s rozdílným průtokem. V létě proudí víc průtoku horními vyústkami a v zimě méně. Ostatní parametry jsou totožné s původní variantou.

2.8.2 Stanovení rychlostních profilů vyústek

Navrženy kruhové difuzory stejné, jako v původní variantě. Vyústky mají dva režimy. V létě vytváří radiální proud a v zimě kompaktní vířivý proud.

HLEDIŠTĚ – LETNÍ OBDOBÍ:

Počet vyústek $n = 16$ ks

Průměr jedné vyústky $d = 315$ mm

Celkový průtok vzduchu pro hlediště $V_c = 8875$ m³/h

Volná plocha jedné vyústky radiálního výstupu $S = 0,0618$ m²

Průtok snížený přední vyústkou $V_1 = \frac{V_c}{n} \cdot \eta = \frac{8875/3600}{16} \cdot 0,5 = 0,092$ m³/s

Rychlost na volné radiální ploše přední vyústky $w_1 = \frac{V}{S} = \frac{0,092}{0,0618} = 1,25$ m/s

Průtok zvýšený zadní vyústkou $V_2 = \frac{V_c}{n} \cdot \eta = \frac{8875/3600}{16} \cdot 1,5 = 0,216$ m³/s

Rychlost na volné radiální ploše zadní vyústky $w_2 = \frac{V}{S} = \frac{0,216}{0,0618} = 3,74$ m/s

JEVIŠTĚ – LETNÍ OBDOBÍ:

Počet vyústek $n = 3$ ks

Průměr jedné vyústky $d = 315$ mm

Celkový průtok vzduchu pro hlediště $V_c = 2675$ m³/h

Volná plocha jedné vyústky radiálního výstupu $S = 0,0618$ m²

Průtok jednou vyústkou $V = \frac{V_c}{n} = \frac{2675/3600}{3} = 0,248$ m³/s

Rychlost na volné radiální ploše vyústky $w = \frac{V}{S} = \frac{0,248}{0,0618} = 4,01$ m/s

HLEDIŠTĚ – ZIMNÍ OBDOBÍ:

Počet vyústek $n = 16$ ks

Průměr jedné vyústky $d = 315$ mm

Celkový průtok vzduchu pro hlediště $V_c = 8875$ m³/h

Volná plocha jedné vyústky kompaktního výstupu $S = 0,0696$ m²

Průtok zvýšený přední vyústkou $V_1 = \frac{V_c}{n} \cdot \eta = \frac{8875/3600}{16} \cdot 1,2 = 0,185$ m³/s

Rychlost na volné radiální ploše přední vyústky $w_1 = \frac{V}{S} = \frac{0,185}{0,0696} = 2,66$ m/s

Průtok snížený zadní vyústkou $V_2 = \frac{V_c}{n} \cdot \eta = \frac{8875/3600}{16} \cdot 0,8 = 0,123$ m³/s

Rychlost na volné radiální ploše zadní vyústky $w_2 = \frac{V}{S} = \frac{0,123}{0,0696} = 1,77$ m/s

JEVIŠTĚ – ZIMNÍ OBDOBÍ:

Počet vyústek $n = 3$ ks

Průměr jedné vyústky $d = 315$ mm

Celkový průtok vzduchu pro hlediště $V_c = 2675$ m³/h

Volná plocha jedné vyústky kompaktního výstupu $S = 0,0696$ m²

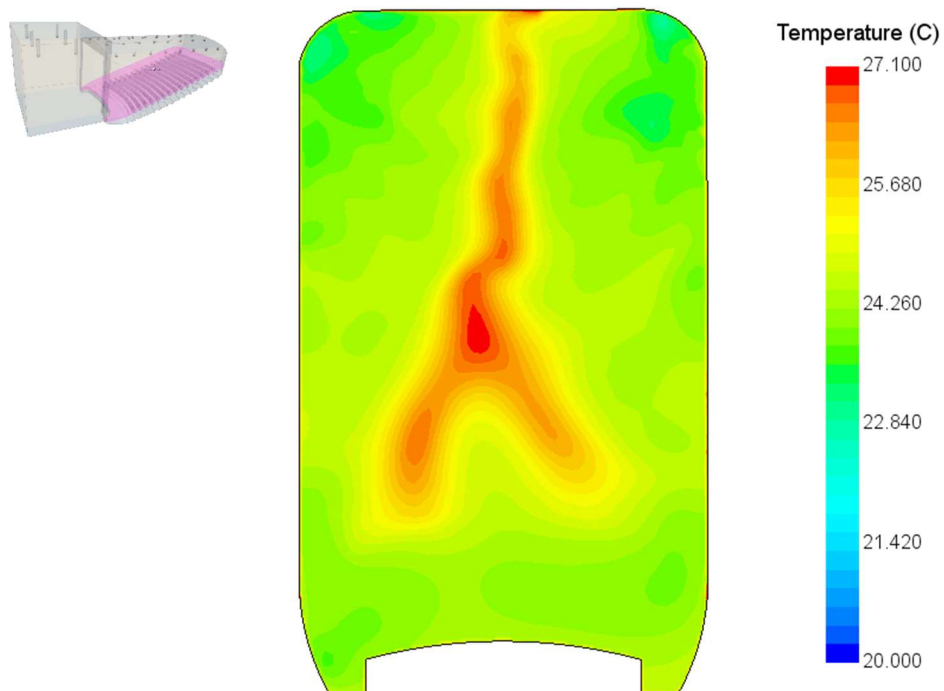
Průtok jednou vyústkou $V = \frac{V_c}{n} = \frac{2675/3600}{3} = 0,248$ m³/s

Rychlost na volné radiální ploše vyústky $w = \frac{V}{S} = \frac{0,248}{0,0696} = 3,56$ m/s

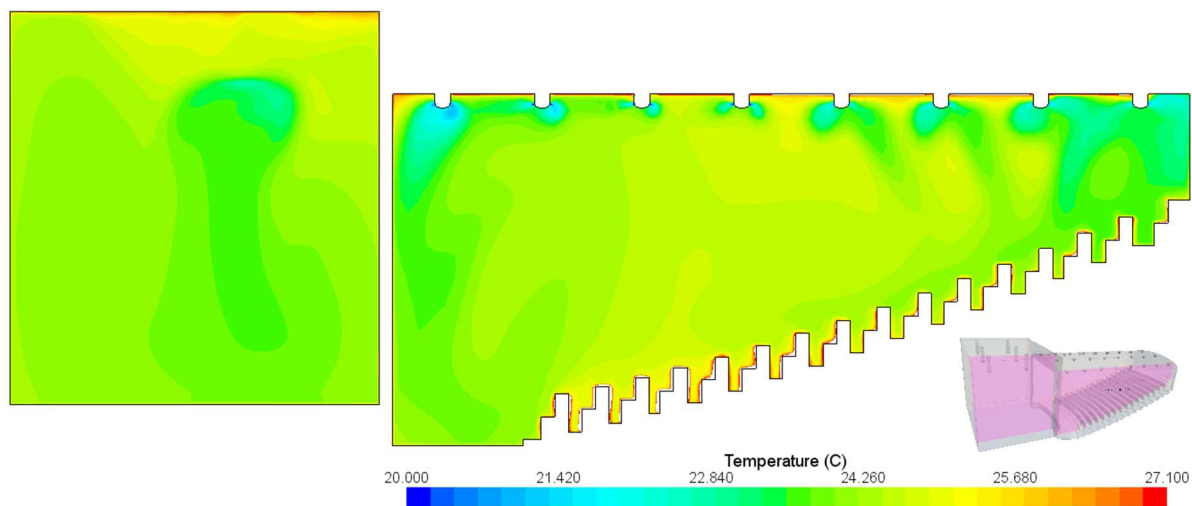
2.8.3 Výsledky simulace druhé varianty

2.8.3.1 Letní období

TEPLOTNÍ POLE



Obr.č.52 – Teplotní pole šikmého vyšetřovacího řezu v pobytové zóně – varianta 2 letní období

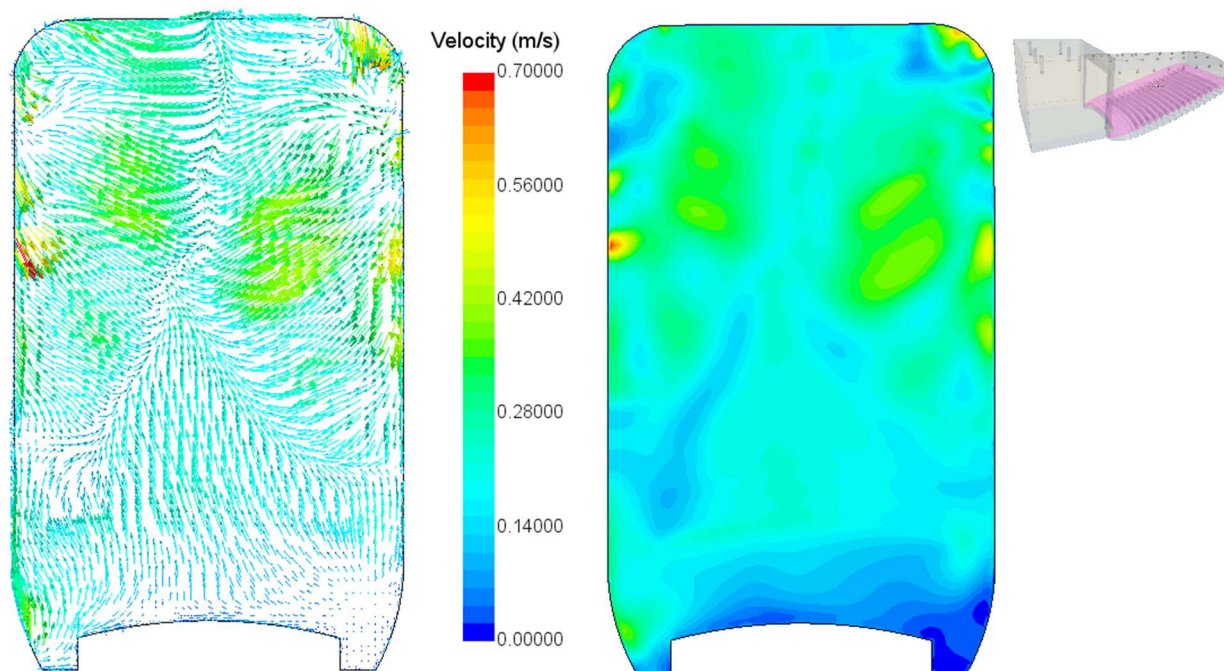


Obr.č.53 – Teplotní pole svislého řezu – varianta 2 letní období

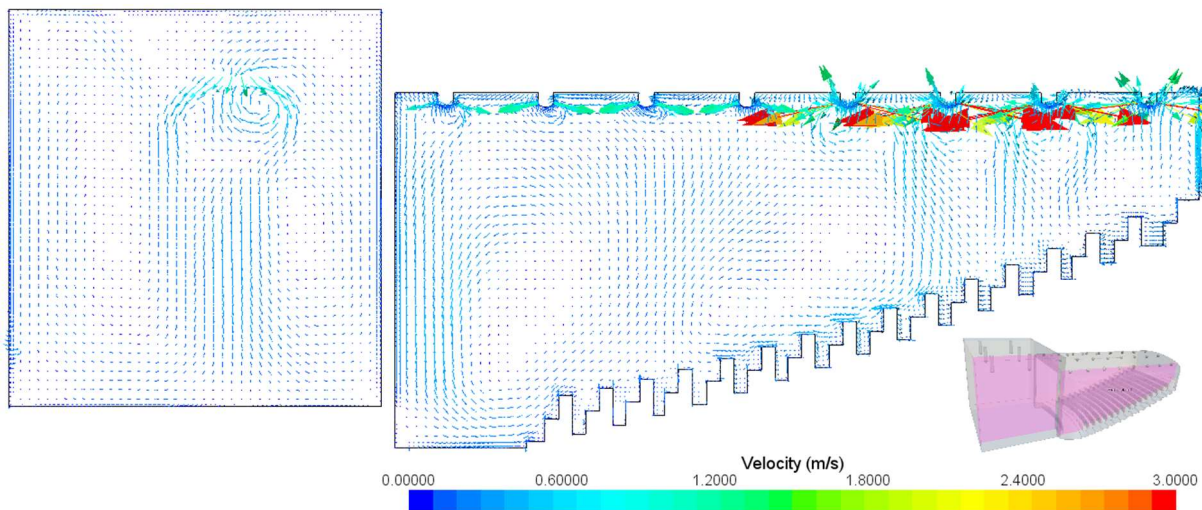
Maximální dosažená teplota: 26,9 °C
 Minimální dosažená teplota: 22,9 °C
 Průměrná teplota: 24,6 °C

Přívodem většího množství chladného vzduchu do horních prostor divadelního sálu v této variantě se docílilo k zlepšení teplotních profilů v pobytové zóně. Teplý vzduch je vytlačován a rozprostřen do většího prostoru a díky tomu nevytváří vysoké teploty. Oproti původní variantě je maximální dosažená teplota o 1,8K nižší.

RYCHLOSTNÍ POLE



Obr.č.54 – Rychlostní pole šikmého vyšetřovacího řezu v pobytové zóně – varianta 2 letní období



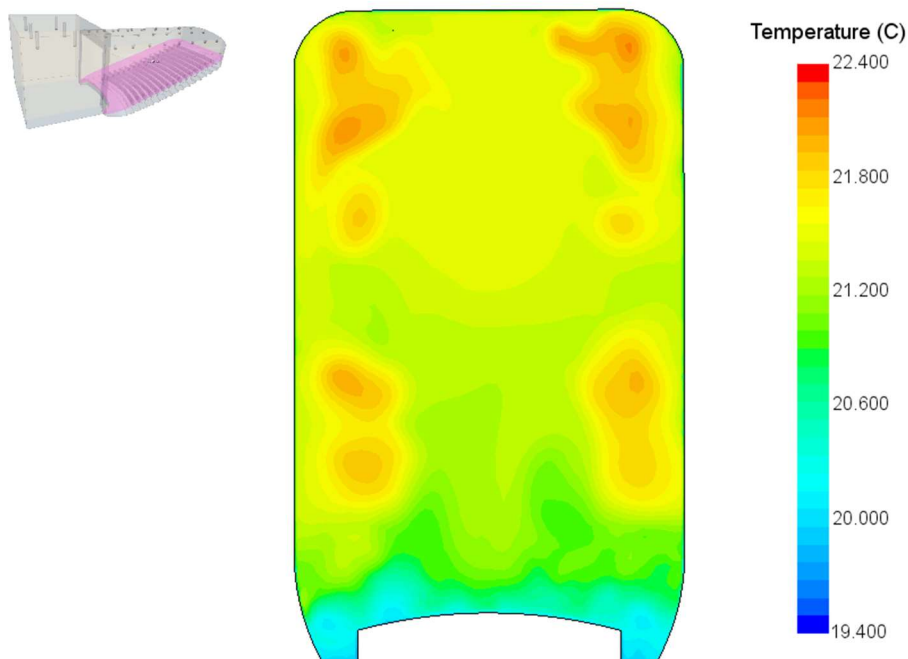
Obr.č.55 – Rychlostní pole svislého řezu – varianta 2 letní období

Maximální dosažená rychlost:	0,65 m/s
Maximální dosažená rychlost v pobytové zóně:	0,31 m/s
Průměrná rychlost:	0,20 m/s

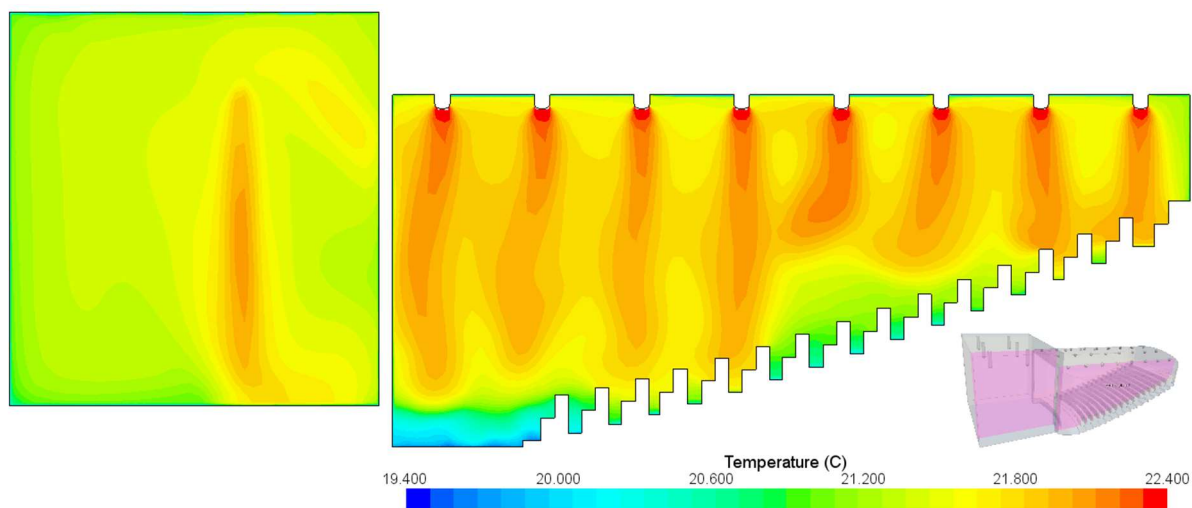
V této variantě je rychlostní pole podobné jako v původní variantě. Vysoké rychlosti vznikají vlivem gravitačních vztahových sil v blízkosti stěn, kde není pobytová zóna. Rychlosti v pobytové zóně jsou vyhovující.

2.8.3.2 Zimní období

TEPLOTNÍ POLE



Obr.č.56 – Teplotní pole šikmého vyšetřovacího řezu v pobytové zóně – varianta 2 zimní období

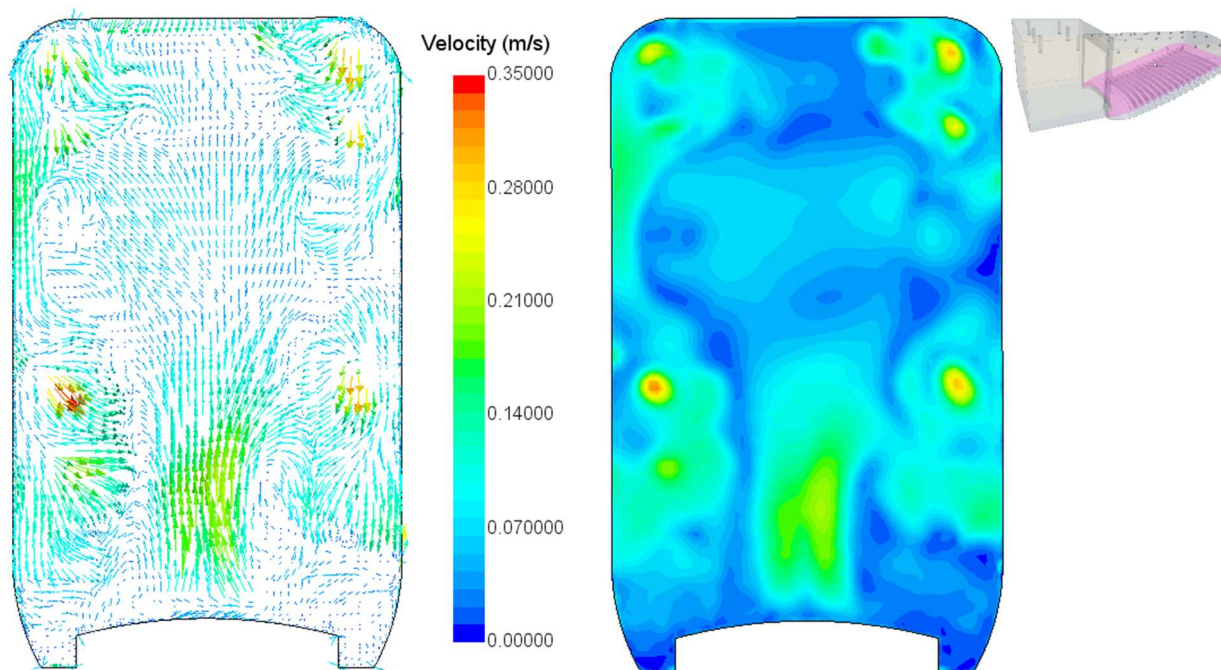


Obr.č.57 – Teplotní pole svislého řezu – varianta 2 zimní období

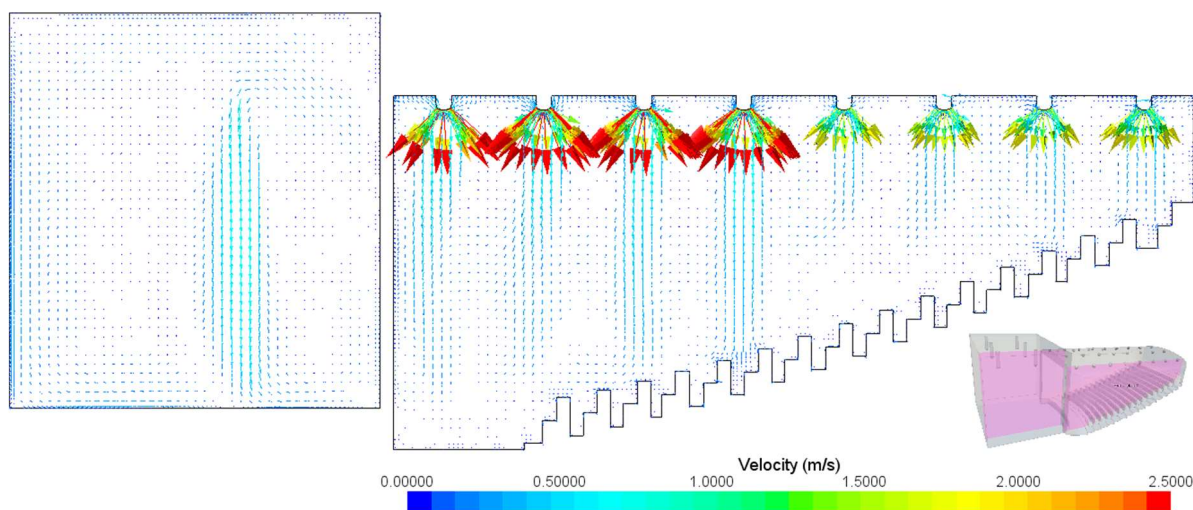
Maximální dosažená teplota:	22,2 °C
Minimální dosažená teplota:	20,4 °C
Průměrná teplota:	21,4 °C

Teploty v pobytové místnosti této varianty jsou podobné jako v původním řešení. Průměr teplot v pobytové místnosti mírně vzrostl díky lepšímu směšování teplého a chladného vzduchu a přispívá k lepšímu teplotnímu klimatu.

RYCHLOSTNÍ POLE



Obr.č.58 – Rychlostní pole šikmého vyšetřovacího řezu v pobytové zóně – varianta 2 zimní období



Obr.č.59 – Rychlostní pole svislého řezu – varianta 2 zimní období

Maximální dosažená rychlost v pobytové zóně: 0,30 m/s
Průměrná rychlost: 0,10 m/s

Maximální hodnota rychlosti v pobytové zóně se oproti původní variantě dost snížila. Celkové rychlosti v pobytové zóně jsou vyhovující.

2.8.4 Vyhodnocení druhé varianty

LETNÍ OBDOBÍ

V letním období se dospělo k velkému snížení maximální teploty k lepšímu rozložení teplot pobytové zóny. Maximální teploty vyhovují požadavkům tepelné stability. Rychlosti v pobytové zóně nedosahují výrazných extrémů způsobených přívodem vzduchu a jejich průměrná hodnota vyhovuje požadavkům komfortního mikroklimatu. Lze vyhodnotit jako vyhovující a proveditelnou variantu distribuce vzduchu teplovzdušného chlazení.

Teplota – **Vyhovuje** – Teploty nepřekročí maximum 27°C ani při nejvyšší tepelné zátěži.

Rychlost – **Vyhovuje** – v místech trvalého pobytu vyhovujících 0,20 m/s.

ZIMNÍ OBDOBÍ

V zimním období se rovněž zlepšilo rozložení teplot, které v pobytové zóně vyhovují návrhovým požadavkům. Rychlosti v pobytové zóně nedosahují výrazných extrémů a jejich průměrná hodnota vyhovuje požadavkům komfortního mikroklimatu. Lze vyhodnotit jako vyhovující a proveditelnou variantu distribuce vzduchu teplovzdušného vytápění.

Teplota – **Vyhovuje** – Teplota v pobytové zóně neklesne pod 20 °C, průměrně 21,4°C.

Rychlost – **Vyhovuje** – v místech trvalého pobytu vyhovujících 0,10 m/s.

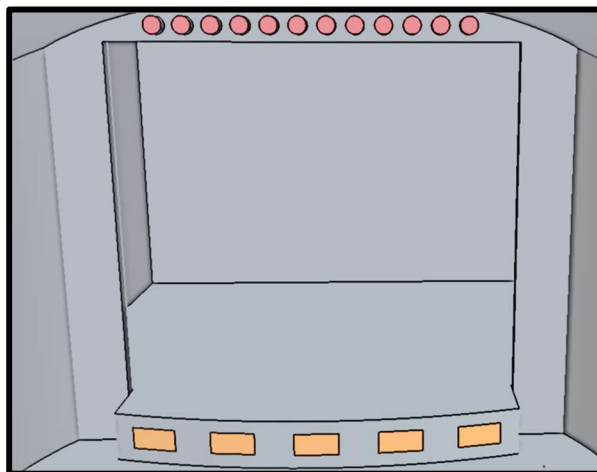
ZÁVĚR VARIANTY

Varianta je **vyhovující** a proveditelná.

2.9 Simulace třetí varianty – dýzy

2.9.1 Popis návrhu

Zde je zachována koncepce teplovzdušného vytápění a chlazení centrální vzduchotechnickou jednotkou. Jako distribuční elementy byly zvoleny dýzy umístěné na čelní stěně pod stropem. Dýzy jsou navrženy tak, aby zajistili výměnu vzduchu i v nejvzdálenějších místech haly. Jejich úhel natočení se liší dle režimu chlazení/vytápění. Odvod je zajištěn v podlaze pod jevištěm obdélníkovými výústkami.



Obr.č.60 – Model dýz

2.9.2 Stanovení rychlostních profilů výústek

Jsou navrženy dýzy s nízkou vířivostí a velkým dosahem proudu vzduchu. Průtok vzduchu jednou dýzou je navržen softwarem výrobce tak, aby dosah proudu byl optimální. Odvodní výústky nepřekročí limitní rychlost 2m/s.

HLEDIŠTĚ – LETNÍ OBDOBÍ:

Počet výústek $n = 12$ ks

Průměr jedné výústky $d = 314$ mm

Celkový průtok vzduchu pro hlediště $V_c = 8875$ m³/h

Volná plocha jedné výústky $S = 0,0774$ m²

Průtok jednou výústkou $V = \frac{V_c}{n} = \frac{8875/3600}{12} = 0,205$ m³/s

Rychlost na volné ploše výústky $w = \frac{V}{S} = \frac{0,205}{0,0774} = 2,65$ m/s

JEVIŠTĚ – LETNÍ OBDOBÍ:

Počet výústek $n = 3$ ks

Průměr jedné výústky $d = 315$ mm

Celkový průtok vzduchu pro hlediště $V_c = 2675$ m³/h

Volná plocha jedné výústky radiálního výstupu $S = 0,0618$ m²

Průtok jednou výústkou $V = \frac{V_c}{n} = \frac{2675/3600}{3} = 0,248$ m³/s

Rychlost na volné radiální ploše výústky $w = \frac{V}{S} = \frac{0,248}{0,0618} = 4,01$ m/s

HLEDIŠTĚ – ZIMNÍ OBDOBÍ:

Počet výústek $n = 12$ ks

Průměr jedné výústky $d = 314$ mm

Celkový průtok vzduchu pro hlediště $V_c = 8875$ m³/h

Volná plocha jedné výústky $S = 0,0774$ m²

Průtok jednou výústkou $V = \frac{V_c}{n} = \frac{8875/3600}{12} = 0,205$ m³/s

Rychlost na volné ploše výústky $w = \frac{V}{S} = \frac{0,205}{0,0774} = 2,65$ m/s

JEVIŠTĚ – ZIMNÍ OBDOBÍ:

Počet výústek $n = 3$ ks

Průměr jedné výústky $d = 315$ mm

Celkový průtok vzduchu pro hlediště $V_c = 2675$ m³/h

Volná plocha jedné výústky kompaktního výstupu $S = 0,0696$ m²

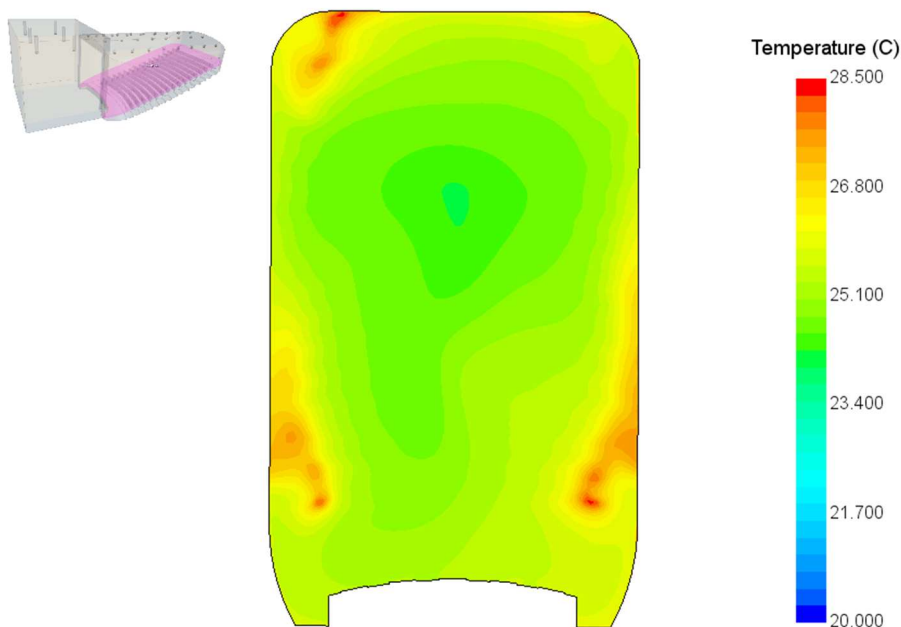
Průtok jednou výústkou $V = \frac{V_c}{n} = \frac{2675/3600}{3} = 0,248$ m³/s

Rychlost na volné radiální ploše výústky $w = \frac{V}{S} = \frac{0,248}{0,0696} = 3,56$ m/s

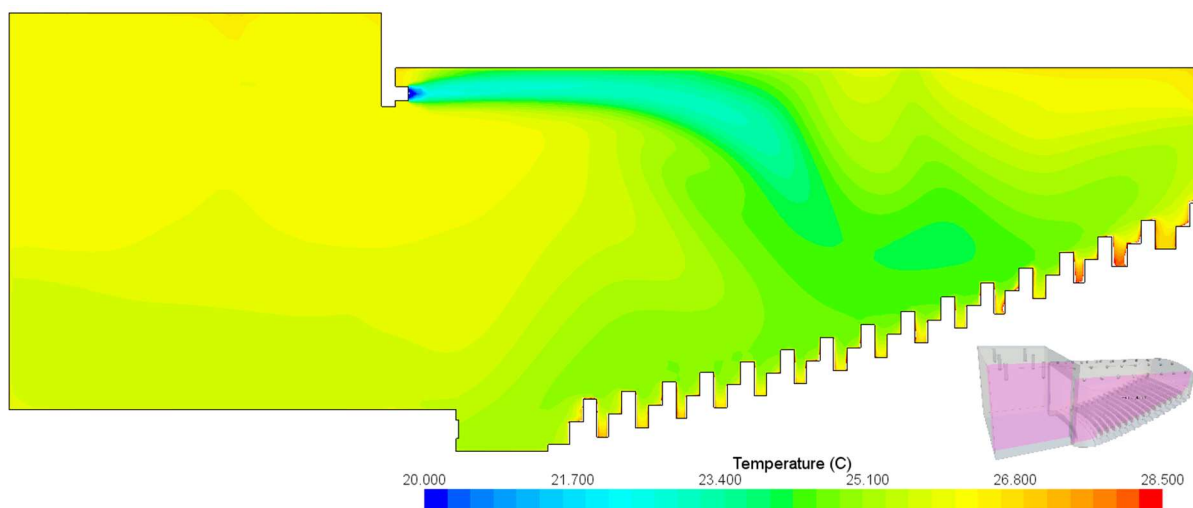
2.9.3 Výsledky simulace třetí varianty

2.9.3.1 Letní období

TEPLOTNÍ POLE



Obr.č.61 – Teplotní pole šikmého vyšetřovacího řezu v pobytové zóně – varianta 3 letní období



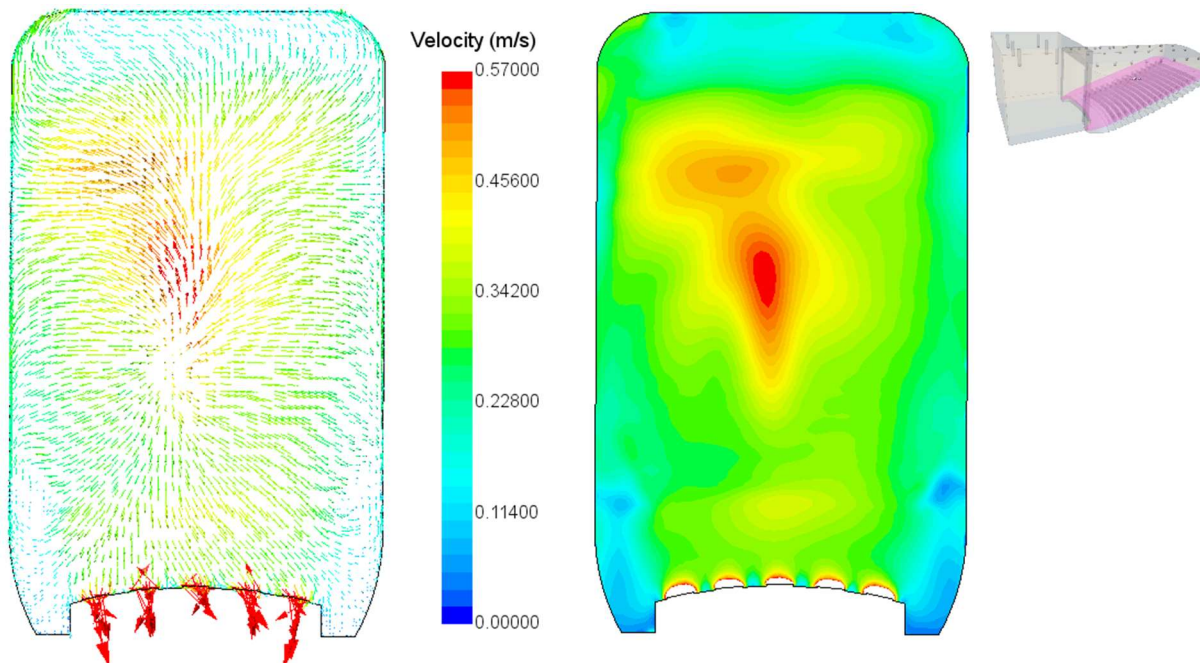
Obr.č.62 – Teplotní pole svislého řezu – varianta 3 letní období

Maximální dosažená teplota: 28,2 °C
Minimální dosažená teplota: 24,4 °C
Průměrná teplota: 25,3 °C

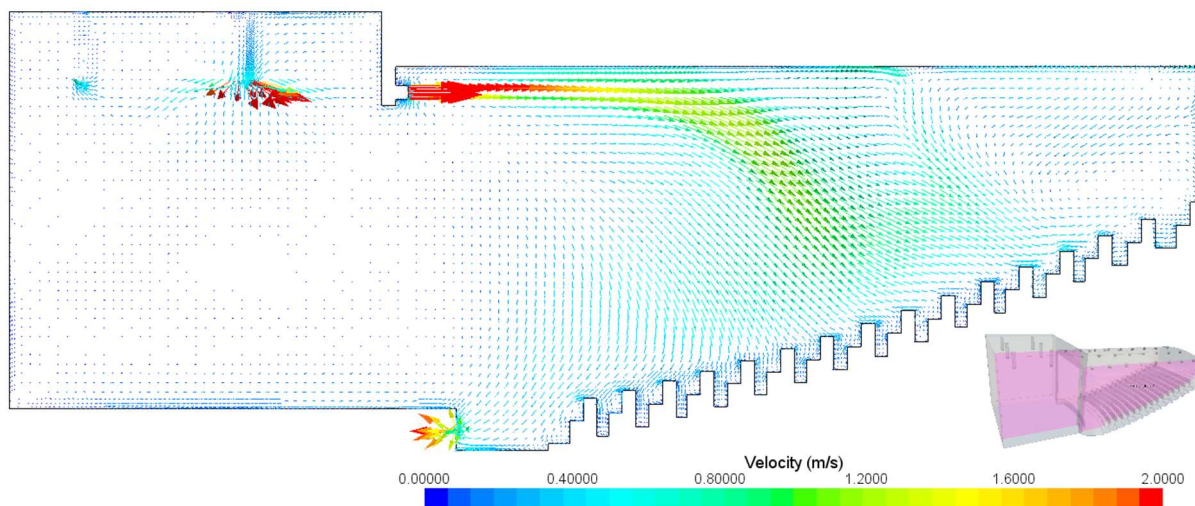
Proud vzduchu z dýz je rovnoměrně rozprostřený po pobytové zóně sedících osob a vytváří vyhovující průměrnou teplotu. V rozích, kde velmi málo dominuje přívodní vzduch, se

vyskytuje vysoká teplota. Příčina vysoké teploty je nastavený tepelný výkon plochy v modelu simulující tepelné zisky osob a teplý vzduch se v dlouho zdržuje na jednom místě.

RYCHLOSTNÍ POLE



Obr.č.63 – Rychlostní pole šikmého vyšetřovacího řezu v pobytové zóně – varianta 3 letní období



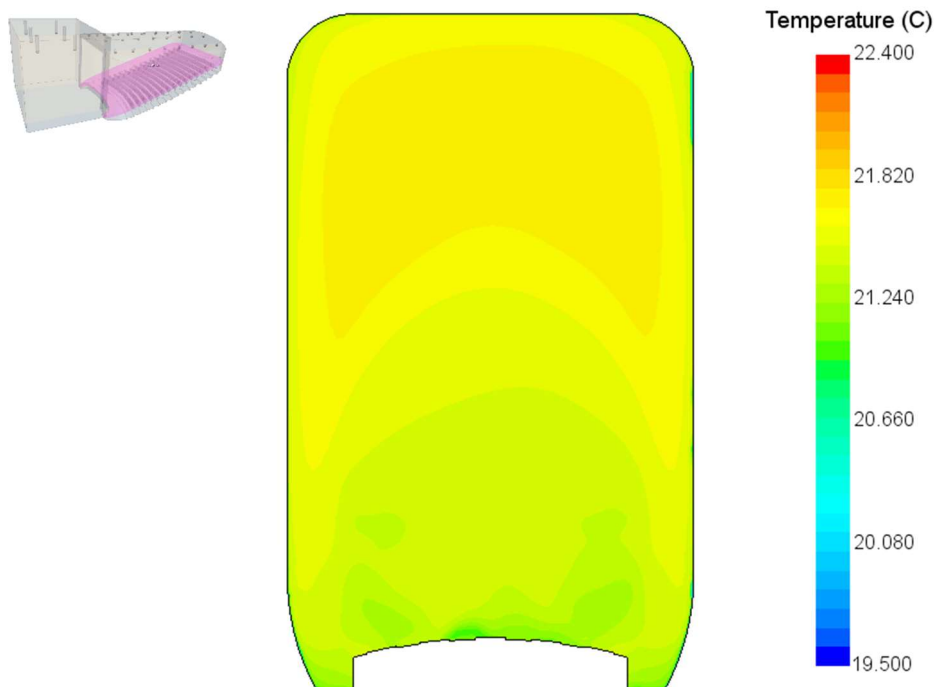
Obr.č.64 – Rychlostní pole svislého řezu – varianta 3 letní období

Maximální dosažená rychlost:	1,80 m/s
Maximální dosažená rychlost v pobytové zóně:	0,56 m/s
Průměrná rychlost:	0,25 m/s

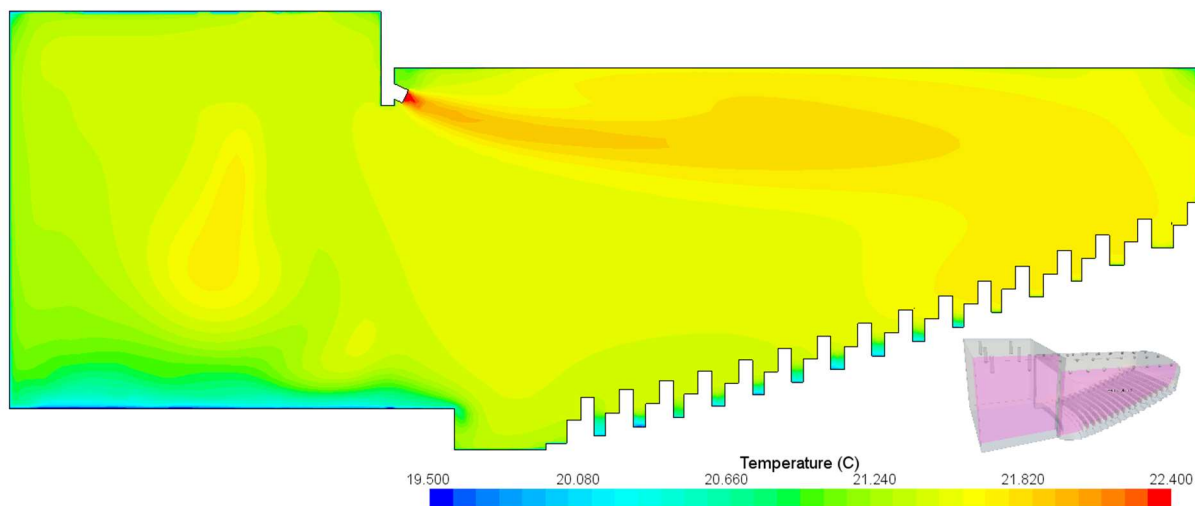
Proud přiváděného chladného vzduchu se rychle odtrhne od stropu a klesá do pobytové zóny, kde vytváří příliš vysoké rychlosti až 0,56 m/s. Při takhle vysokých rychlostech a nízkých teplot nastává riziko nespokojených osob s pocitem průvanu.

2.9.3.2 Zimní období

TEPLOTNÍ POLE



Obr.č.65 – Teplotní pole šikmého vyšetřovacího řezu v obytné zóně – varianta 3 zimní období

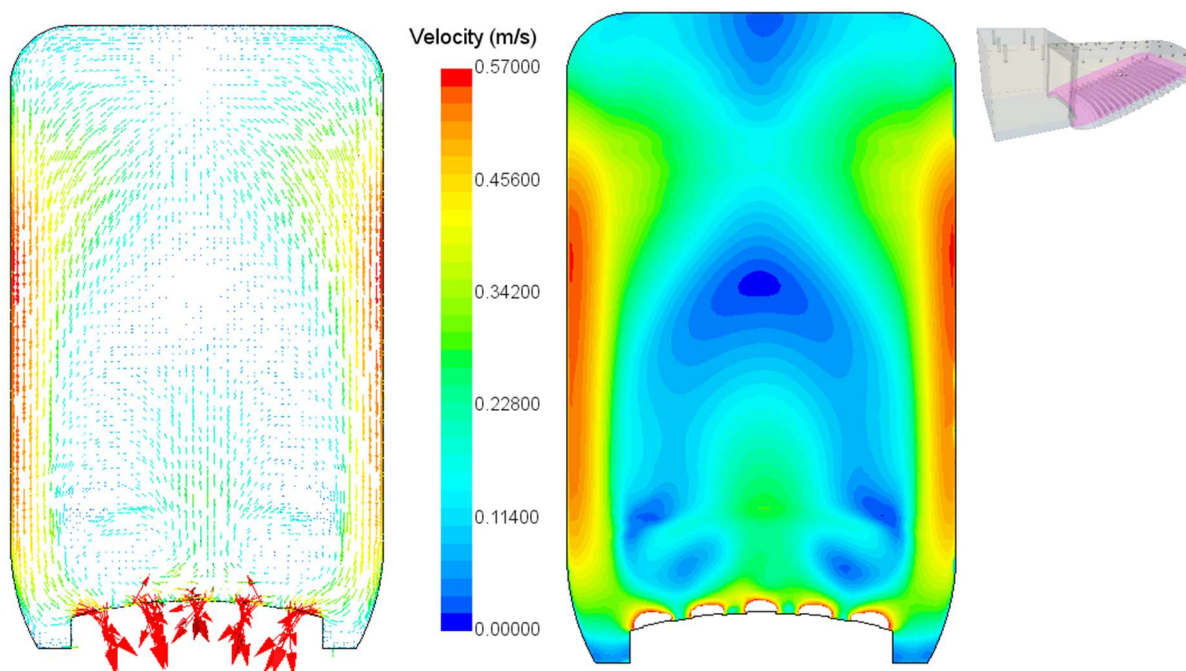


Obr.č.66 – Teplotní pole svislého řezu – varianta 3 zimní období

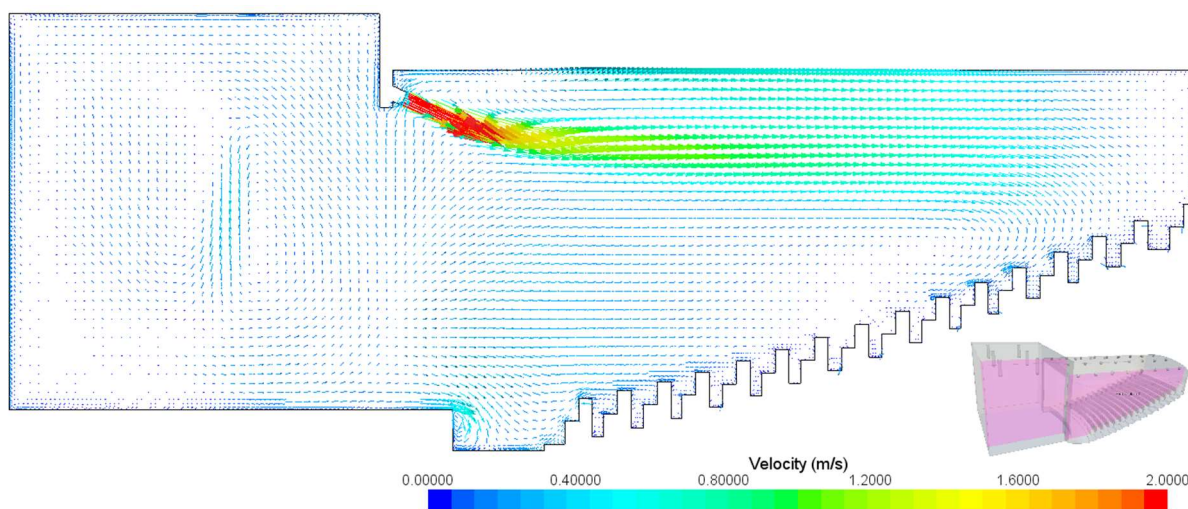
Maximální dosažená teplota: 21,7 °C
Minimální dosažená teplota: 20,5 °C
Průměrná teplota: 21,5 °C

Zimním obdobím dochází k rovnoměrnému rozložení teplot a nevznikají výrazné extrémy. Průměrná teplota v místnosti je optimální.

RYCHLOSTNÍ POLE



Obr.č.67 – Rychlostní pole šikmého vyšetřovacího řezu v pobytové zóně – varianta 3 zimní období



Obr.č.68 – Rychlostní pole svislého řezu – varianta 3 zimní období

Maximální dosažená rychlost:	1,80 m/s
Maximální dosažená rychlost v pobytové zóně:	0,35 m/s
Průměrná rychlost:	0,16 m/s

U této varianty lze pozorovat, že přiváděný vzduch je rovnoměrně rozprostřen nad pobytovou zónou a vlivem podtlaku stažen do pobytové zóny a odveden skrze boční uličky do odvodních obdélníkových vyústek. V místě bočních uliček dochází ke zvýšené rychlosti až 0,55 m/s a na krajních sedadlech u uličky je rychlost 0,35 m/s, která je pro pobytovou zónu vysoká a může v tomto místě způsobovat nepříjemný průvan.

2.9.4 Vyhodnocení třetí varianty

LETNÍ OBDOBÍ

V letním období vznikají malé lokální místa s vysokou teplotou, která je způsobena nedostatkem chladného vzduchu v tomto místě k poměru citelných zisků od sedících osob. Vysoká teplota se vyskytuje pouze na hranici pobytové zóny v uličce a je otázkou, zda se bude tato teplota vyskytovat a zda bude člověka v tomto místě obtěžovat. Dále za naprojektovaných parametrů vznikají vysoké rychlosti v pobytové zóně. Chladný přiváděný vzduch má vysoký potenciál klesat k zemi a to vysokou rychlostí.

Teplota – **Nevyhovuje** – Místy vzniká vysoká teplota až 28,2 °C.

Rychlost – **Nevyhovuje** – Vlivem neizotermního proudu vznikají rychlosti až 0,56 m/s.

ZIMNÍ OBDOBÍ

V zimním období dochází k perfektnímu rozložení teplot v hale a odpovídá návrhovým požadavkům. Rychlosti jsou v uličkách vysoké a ovlivňují pobytovou zónu, kde na okrajích s uličkou vzniká vysoká rychlost, která by mohla negativně ovlivnit kvalitu mikroklimatu.

Teplota – **Vyhovuje** – Teplota v pobytové zóně neklesne pod 20 °C, průměrně 21,5°C.

Rychlost – **Nevyhovuje** – v místech trvalého pobytu rychlosti až 0,35 m/s.

ZÁVĚR VARIANTY

S návrhovými parametry, které byly zvoleny, je varianta **nevyhovující**. To není důvod zahazovat tuto variantu distribučních elementů, ale změnou některých návrhových parametrů (jako je například teplota přívodního vzduchu, průtok přívodního vzduchu, rozestup přívodních dýz, náklon přívodních dýz, velikost odvodních výustek) lze nedostatky této varianty eliminovat a dosáhnout lepších výsledků. Přívodní dýzy jsou velmi variabilní v ohledu směru proudu.

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

OPTIMALIZACE VĚTRÁNÍ DIVADELNÍ HALY

OPTIMIZING THEATER HALL VENTILATION



ČÁST C – KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ

3. KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ DIVADELNÍ HALY

V této kapitole je představen a popsán podrobný návrh původního stavu vzduchotechniky vnitřního prostředí divadelní haly a zázemí.

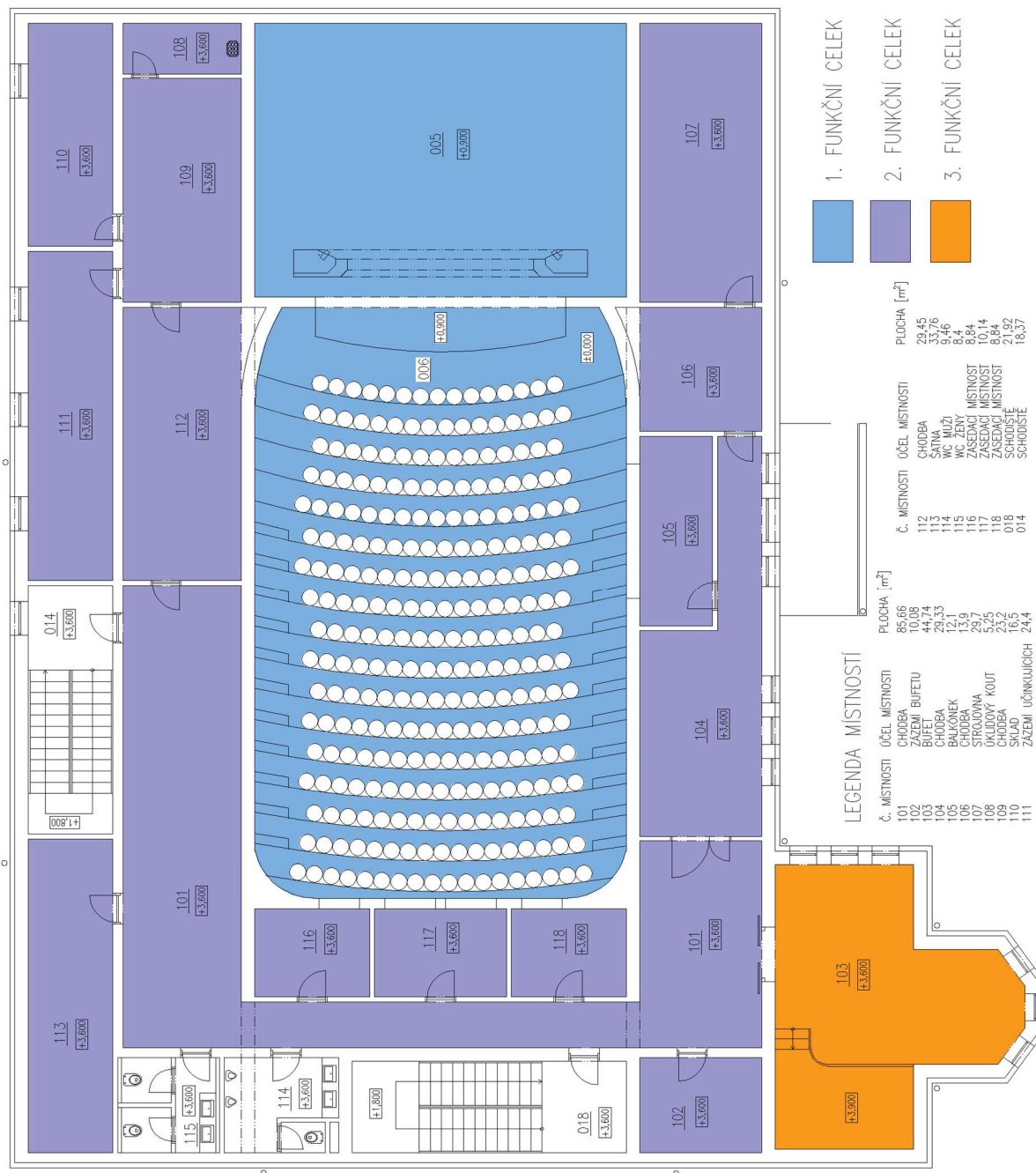
3.1 Popis řešeného objektu

Jedná se dvoupodlažní objekt o půdorysné ploše 840 m². Konstrukce je z vodorovně nosných železobetonových konstrukcí doplněných o příčné nosné zděné pórobetonové konstrukce Ytong. V každé místnosti je strop zakryt sádkartonovým podhledem. Dělicí konstrukce jsou zhotoveny také z pórobetonových tvárnic firmy Ytong. Střešní konstrukce nad hlavním sálem je ze dřevěných vazníků a nad ostatními prostory ze železobetonových desek. Prostory jeviště a hlediště jsou výškově přes obě patra. v 1. NP se nachází vstup, místnosti pro účinkující (šatna, umyvárna, WC), technické místnosti (sklady) a veřejné wc. V 1.NP i 2.NP je bufet. V 2.NP jsou zasedací místnosti, veřejné wc, komora, a jeden balkón. Pro vzduchotechnické zařízení bude na střeše vybudována místnost pro strojovnu s přístupem ze střechy. Místnost bude postavena na železobetonovém stropě křížem vyztuženým.

Objekt jsem rozdělil na 3 funkční celky. Rozdělení funkčních celků je s ohledem na rozdílný provoz místností, vznik škodlivin v místnostech a na jejich půdorysné umístění.

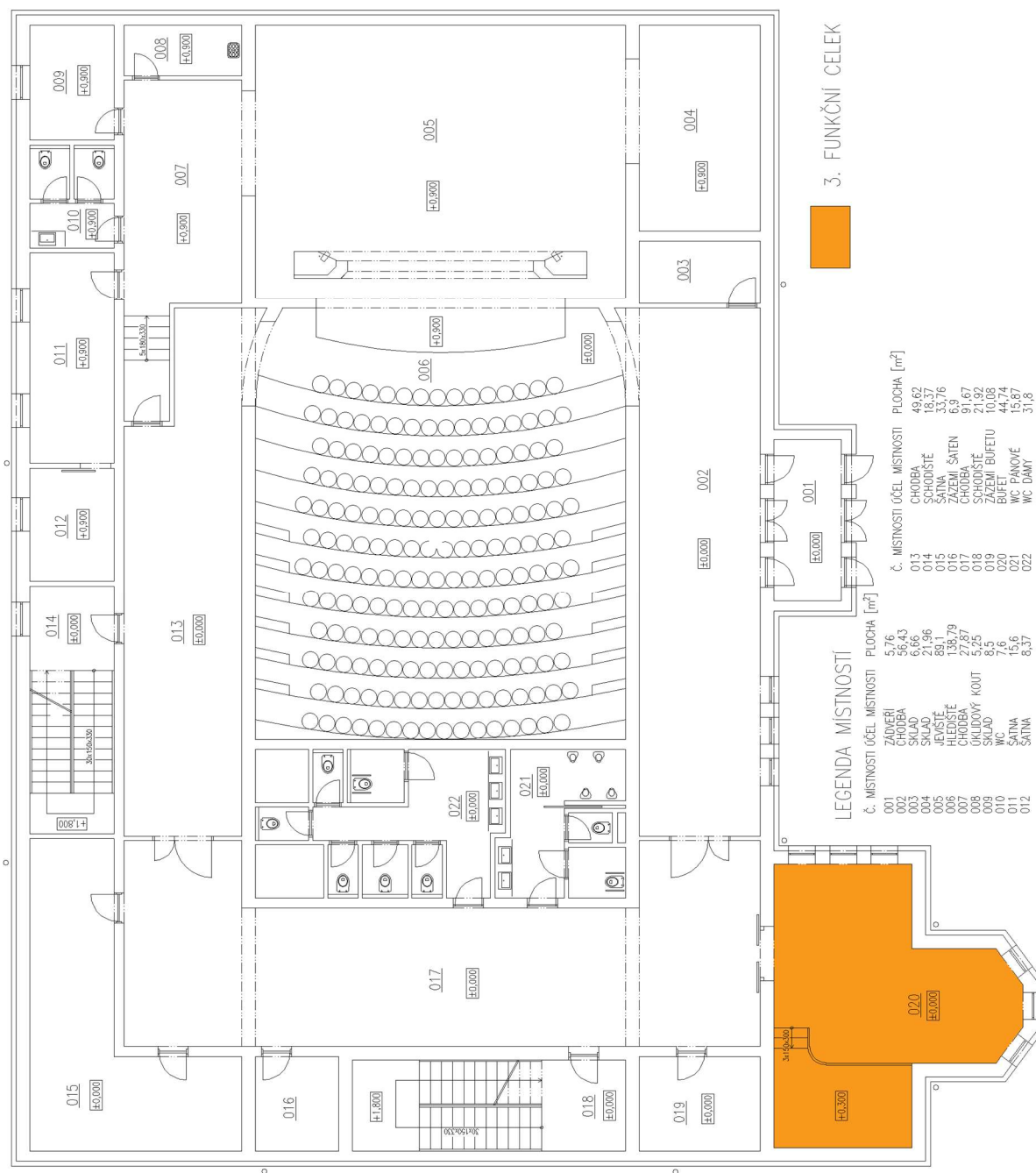
1. funkční celek – hlediště a jeviště, kde je velký výskyt osob a kde jsou vysoké nároky na kvalitu vzduchu, především vlhčení. Je zde nízký až žádný výskyt škodlivin, takže pro tento celek lze využít směšování odvodního vzduchu s přívodním. Prostory budou v létě klimatizované a v zimě teplovzdušně vytápěné.
2. funkční celek – jsou dva bufety. Jeden je v 1.NP a druhý v 2.NP. Zde je mírný výskyt škodlivin z odparu z jídel a nápojů. Prostory budou v létě klimatizované a v zimě teplovzdušně vytápěné.
3. funkční celek – jsou ostatní místnosti v 2.NP, které jsou pouze větrané o teplotě interiéru (v zimě 20°C a v létě 26°C). Nachází se zde i odvětrání hygienických zařízení. Zasedací místnosti 116, 117, 118 a místnost určená jako zázemí účinkujících budou v letním období klimatizovány lokálními jednotkami.

PŮDORYS 2.NP



Obr.č.69 Rozdělení objektu na funkční celky – 2.NP

PŮDORYS 1.NP



Obr.č.70 Rozdělení objektu na funkční celky – 1.NP

3.2 Tepelná bilance objektu

3.2.1 Návrhové parametry

Tab.č.14 – Výpočtové klimatické hodnoty

Město	Brno	
Nadmořská výška	497 m.n.m.	
Zima	Teplota externí t_e [°C]	-12,0
	Relativní vlhkost Φ [%]	95
Léto	Teplota externí t_e [°C]	30
	Relativní vlhkost Φ [%]	40
	Entalpie h_e [kJ/kg]	57,9

Tab.č.15 – Výpočtové hodnoty vnitřního prostředí

VZT	Místnost	Teplota interiéru [°C]		Relativní vlhkost interiéru [%]		Hladina akustického tlaku [dB/A]
		Léto	Zima	Léto	Zima	
1	005 Jeviště	26	20	60	50	50
	006 Hlediště	26	20	60	50	50
2	020 Bufet	26	20	60	50	55
	103 Bufet	26	20	60	50	55
3	101 Chodba	-	20	-	-	55
	102 Zázemí bufetu	-	20	max. 65	min 30	55
	104 Chodba	-	20	-	-	55
	105 Balkónek	-	20	max. 65	min 30	55
	106 Chodba	-	20	-	-	55
	107 Komora	-	20	max. 65	min 30	55
	108 Úklidový kout	-	20	max. 65	min 30	55
	109 Chodba	-	20	-	-	55
	110 Sklad	-	20	-	-	55
	111 Zázemí účinkujících	26	20	60	50	55
	112 Chodba	-	20	-	-	55
	113 Šatna	-	20	max. 65	min 30	55
	114 WC Muži	-	20	max. 65	min 30	55
	115 WC Ženy	-	20	max. 65	min 30	55
	116 Zasedání místnost	26	20	60	50	55
	117 Zasedání místnost	26	20	60	50	55
	118 Zasedání místnost	26	20	60	50	55

3.2.2 Součinitelé prostupu tepla

Součinitelé prostupu tepla byly vypočteny programem TOB v.15.5.1 PROTECH spol. s.r.o. pro konkrétní skladby konstrukcí a výsledky jsou uvedeny v tabulce.

Tab.č.16 – Součinitelé prostupu tepla

Konstrukce	U [W/m ² .K]	U _N [W/m ² .K]	U _{rec} [W/m ² .K]	Posouzení
SO1 – vnější stěna ŽB	0,272	0,30	0,25	Vyhoví na požadované
SO2 – vnější stěna pórobeton	0,198	0,30	0,25	Vyhoví na doporučené
SN1 – vnitřní nosná stěna ŽB	1,801	2,70	1,80	Vyhoví na požadované
SN2 – vnitřní nosná stěna pórobeton	0,411	2,70	1,80	Vyhoví na doporučené
SN3 – vnitřní stěna pórobeton tl. 150mm	0,875	2,70	1,80	Vyhoví na doporučené
SN4 – vnitřní stěna pórobeton tl. 125mm	1,000	2,70	1,80	Vyhoví na doporučené
PDL1 – Podlaha s dřevěnou nášlapnou vrstvou	0,276	0,45	0,30	Vyhoví na doporučené
PDL1 – Podlaha s keramickou nášlapnou vrstvou	0,291	0,45	0,30	Vyhoví na doporučené
STR1 – ŽB strop	0,554	2,20	1,45	Vyhoví na doporučené
SCH1 – Vazníková střecha	0,201	0,24	0,16	Vyhoví na požadované
SCH2 – ŽB strop a střecha	0,212	0,24	0,16	Vyhoví na požadované
SCH3 – ŽB strop se SDK podhledem a střecha	0,207	0,24	0,16	Vyhoví na požadované

Součinitelé prostupu tepla výplní okenních otvorů byly zvoleny podle katalogu výrobce jako hodnota $U = 1,1 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Pro dveřní výplně otvorů jako $U = 1,3 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.

Všechny konstrukce svým složením vyhoví na požadované hodnoty dle ČSN 73 0540-2:2011.

3.2.3 Tepelné ztráty

Tepelné ztráty byly vypočteny za pomoci programu TV v.4.2.5 PROTECH spol. s.r.o. dle ČSN EN 12831. Výsledky tepelných ztrát jednotlivých místností jsou v tabulce.

V budově je každá místnost větrána vzduchotechnikou, takže ve výpočtu tepelných ztrát není uvažována ztráta přirozeným větráním.

Tab.č.17 – Tepelné ztráty místností

Č. místnosti	Účel místnosti	Součinitel tepelné ztráty [W/K]	Tepelná ztráta [W]
005	Jeviště	106,5	3 727
006	Hlediště	151,3	5 294
020	Bufet	51,0	2 082
101	Chodba	-17,7	0
102	Zázemí bufetu	13,5	474
103	Bufet	61,7	2 511
104	Chodba	29,8	1 091
105	Balkónek	11,1	388
106	Chodba	2,7	81
107	Komora	11,7	352
108	Úklidový kout	3,2	96
109	Chodba	3,4	102
110	Sklad	13,4	457
111	Zázemí účinkujících	33,4	1 359
112	Chodba	-6,7	0
113	Šatna	27,8	974
114	WC muži	11,7	410
115	WC ženy	6,6	232
116	Zasedací místnost	8,7	303
117	Zasedací místnost	5,9	207
118	Zasedací místnost	8,7	303

3.2.4 Tepelné zisky

Vzduchotechnické zařízení bude centrálně klimatizovat 4 místnosti. Další 4 místnosti s potřebou na klimatizovaný provoz obslouží lokální jednotky multi-split. Celkem tedy je potřeba pokrýt tepelnou zátěž 8 místností.

Výpočet tepelných zisků byl proveden v programu Teruna v.1.5b

VÝPOČET TEPELNÉ ZÁTĚŽE – M005 JEVIŠTĚ

ZA NESTACIONÁRNÍCH PODMÍNEK

***** ZADANÉ PRVKY DO VÝPOČTU *****

Venkovní stěna

+-----Ytong venkovní jih (121m², 0.45m, 0.091W/mK, 2100kg/m³, 1020kJ/kgK)

Venkovní stěna

+-----polystyren - střecha (99.1m², 0.41m, 0.083W/mK, 60kg/m³, 1020kJ/kgK)

Venkovní stěna

+-----ŽB venkovní východ (25.5m², 0.55m, 0.155W/mK, 2400kg/m³, 1020kJ/kgK)

Venkovní stěna

+-----ŽB venkovní západ (25.5m², 0.55m, 0.155W/mK, 2400kg/m³, 1020kJ/kgK)

Symetrická stěna

+-----ŽB vnitřní (76.5m², 0.4m, 1.34W/mK, 2400kg/m³, 1020kJ/kgK)

Podlaha

+-----podlaha beton s izolací (99.35m², 0.34m, 0.095W/mK, 1900kg/m³, 800kJ/kgK)

***** VSTUPNÍ ÚDAJE *****

Výpočet proveden pro období od 21.7. do 21.7.

Objem místnosti : 935.55m³

Časový krok: 300s

Ve výpočtu bylo zavedeno:

Simulace oblačnosti: NE

Ostatní tepelné zdroje: NE

Referenční rok: NE

Odpar vody: NE

Uvažován vliv sluneční radiace: ANO

Biologická produkce[1]: 14 - 22h, 75kg, počet

Načtená klimatická data: NE

osob: 30

Osvětlení[1]: 14 - 22h, 2670W

Sálavé plochy: NE

Větrání: NE

***** VÝSLEDKY *****

Maxima tepelné zátěže:

21.7. 21.92h: Citelné teplo Max= 5270.13W

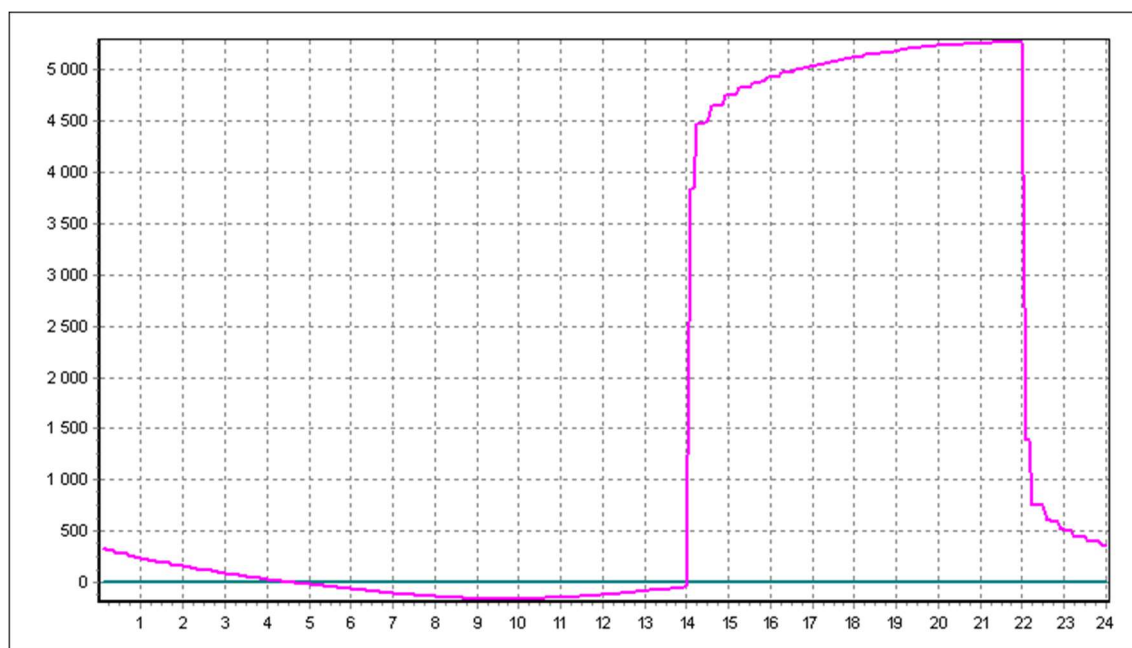
21.7. 9.75h: Citelné teplo Min= -161.82W

21.7. 21.92h: Vázané teplo=1669.84W Merna Tz = -7.59W/K

21.7. 21.92h: Potřeba chladu = 42.13kWh Potřeba tepla = 1.03kWh

Suma potřeby chladu = 42.13kWh

Suma potřeby tepla = 1.03kWh



Obr.č.71 Průběh tepelné zátěže pro místnost M005 jeviště

VÝPOČET TEPELNÉ ZÁTĚŽE – M006 HLEDIŠTĚ

ZA NESTACIONÁRNÍCH PODMÍNEK

***** ZADANÉ PRVKY DO VÝPOČTU *****

Venkovní stěna

+-----polystyren - střecha (203.9m², 0.41m, 0.083W/mK, 60kg/m³, 1020kJ/kgK)

Venkovní stěna

+-----ŽB venkovní východ (35.8m², 0.55m, 0.155W/mK, 2400kg/m³, 1020kJ/kgK)

Venkovní stěna

+-----ŽB venkovní západ (35.8m², 0.55m, 0.155W/mK, 2400kg/m³, 1020kJ/kgK)

Venkovní stěna

+-----Ytong venkovní sever (22.8m², 0.45m, 0.091W/mK, 2100kg/m³, 1020kJ/kgK)

Symetrická stěna

+-----ŽB vnitřní (377.36m², 0.4m, 1.34W/mK, 2400kg/m³, 1020kJ/kgK)

Symetrická stěna

+-----Ytong vnitřní (91.2m², 0.3m, 0.12W/mK, 550kg/m³, 1000kJ/kgK)

Podlaha

+-----podlaha beton s izolací (149.9m², 0.34m, 0.095W/mK, 1900kg/m³, 800kJ/kgK)

***** VSTUPNÍ ÚDAJE *****

Výpočet proveden pro období od 21.7. do 21.7.

Objem místnosti : 1492

Časový krok: 300s

Ve výpočtu bylo zavedeno:

Simulace oblačnosti: NE

Ostatní tepelné zdroje: NE

Referenční rok: NE

Odpar vody: NE

Uvažován vliv sluneční radiace: ANO

Biologická produkce[1]: 16 - 22h, 75kg, počet

Načtená klimatická data: NE

osob: 275

Osvětlení[1]: 14 - 17h, 3800W

Sálavé plochy: NE

Větrání: NE

***** VÝSLEDKY *****

Maxima tepelné zátěže:

21.7. 16.92h: Citelné teplo Max= 17543.75W

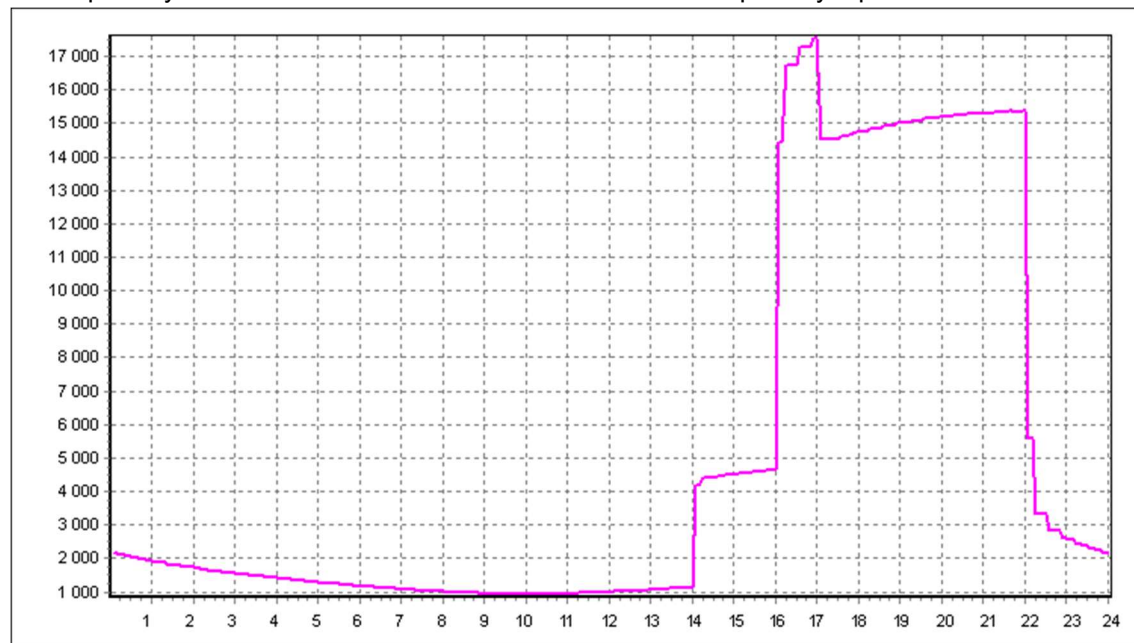
21.7. 10.08h: Citelné teplo Min= 936.44W

21.7. 16.92h: Vázané teplo=15306.91W Merna Tz = 7.97W/K

21.7. 16.92h: Potřeba chladu = 124.26kWh Potřeba tepla = 0kWh

Suma potřeby chladu = 124.26kWh

Suma potřeby tepla = 0kW



Obr.č.72 Průběh tepelné zátěže pro místnost M006 hlediště

VÝPOČET TEPELNÉ ZÁTĚŽE – M020 BUFET

ZA NESTACIONÁRNÍCH PODMÍNEK

***** ZADANÉ PRVKY DO VÝPOČTU *****

Venkovní stěna

+-----ŽB venkovní sever (25.2m², 0.55m, 0.155W/mK, 2400kg/m³, 1020kJ/kgK)

Venkovní stěna

+-----ŽB venkovní západ (30.48m², 0.55m, 0.155W/mK, 2400kg/m³, 1020kJ/kgK)

+-----okno - dvosklo, žaluzie vnější (2.08m², 2.7W/m²K)

+-----okno - dvosklo, žaluzie vnější (2.08m², 2.7W/m²K)

+-----okno - dvosklo, žaluzie vnější (2.08m², 2.7W/m²K)

Venkovní stěna

+-----ŽB venkovní jih (18.96m², 0.55m, 0.155W/mK, 2400kg/m³, 1020kJ/kgK)

+-----okno - dvosklo, žaluzie vnější (2.08m², 2.7W/m²K)

+-----okno - dvosklo, žaluzie vnější (2.08m², 2.7W/m²K)

+-----okno - dvosklo, žaluzie vnější (2.08m², 2.7W/m²K)

Symetrická stěna

+-----ŽB vnitřní (33.12m², 0.4m, 1.34W/mK, 2400kg/m³, 1020kJ/kgK)

Symetrická stěna

+-----ŽB vnitřní strop (59.2m², 0.8m, 0.45W/mK, 2400kg/m³, 1020kJ/kgK)

Podlaha

+-----podlaha beton s izolací (59.2m², 0.34m, 0.095W/mK, 1900kg/m³, 800kJ/kgK)

***** VSTUPNÍ ÚDAJE *****

Výpočet proveden pro období od 21.7. do 21.7.

Časový krok: 300s

Objem místnosti : 160.92m³

Ve výpočtu bylo zavedeno:

Simulace oblačnosti: NE

Ostatní tepelné zdroje: NE

Referenční rok: NE

Odpar vody: NE

Uvažován vliv sluneční radiace: ANO

Biologická produkce[1]: 16 - 22h, 75kg, počet osob: 30

Načtená klimatická data: NE

Sálavé plochy: NE

Osvětlení[1]: 16 - 22h, 1344W

Větrání: NE

***** VÝSLEDKY *****

Maxima tepelné zátěže:

21.7. 17.58h: Citelné teplo Max= 3840.88W

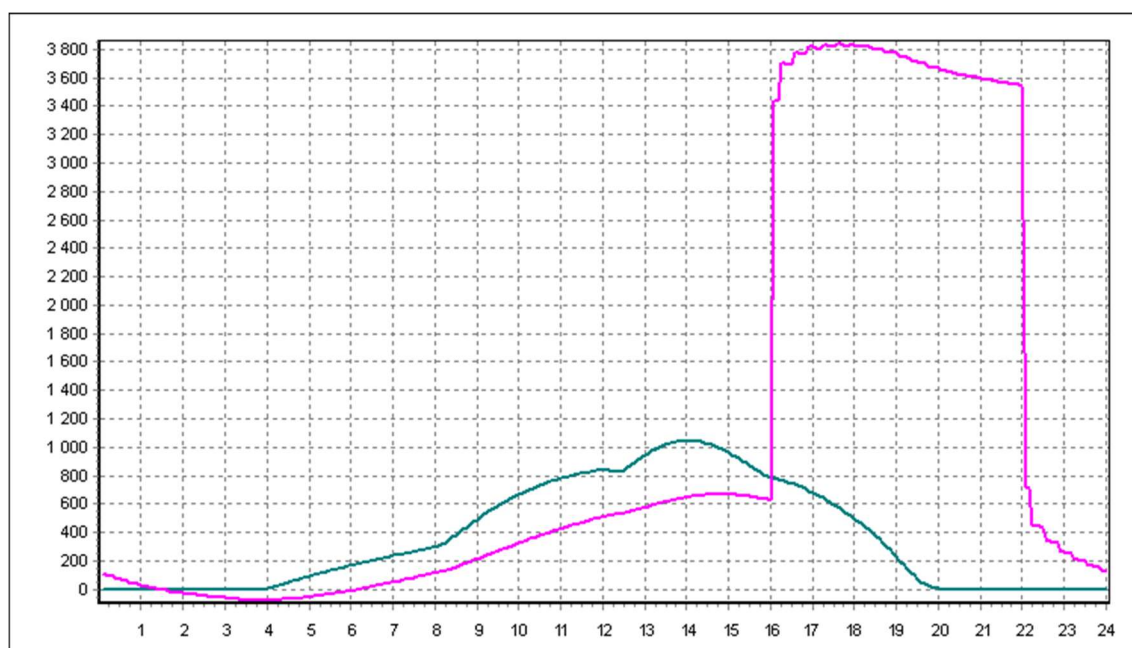
21.7. 4.08h: Citelné teplo Min= -78.36W

21.7. 17.58h: Vázané teplo=1669.84W Merna Tz = 9.7W/K

21.7. 17.58h: Potřeba chladu = 26.77kWh Potřeba tepla = 0.23kWh

Suma potřeby chladu = 26.77kWh

Suma potřeby tepla = 0.23kWh



Obr.č.73 Průběh tepelné zátěže pro místnost M020 bufet

----- Celková tepelná zátěž

----- Tepelné zisky okny

VÝPOČET TEPELNÉ ZÁTĚŽE – M103 BUFET

***** ZADANÉ PRVKY DO VÝPOČTU *****

Venkovní stěna

+-----ŽB venkovní sever (30.32m², 0.55m, 0.155W/mK, 2400kg/m³, 1020kJ/kgK)

Venkovní stěna

+-----ŽB venkovní západ (34.64m², 0.55m, 0.155W/mK, 2400kg/m³, 1020kJ/kgK)

+-----okno - dvosklo, žaluzie vnější (2.52m², 2.7W/m²K)

+-----okno - dvosklo, žaluzie vnější (2.52m², 2.7W/m²K)

+-----okno - dvosklo, žaluzie vnější (2.52m², 2.7W/m²K)

Venkovní stěna

+-----ŽB venkovní jih (22.76m², 0.55m, 0.155W/mK, 2400kg/m³, 1020kJ/kgK)

+-----okno - dvosklo, žaluzie vnější (2.52m², 2.7W/m²K)

+-----okno - dvosklo, žaluzie vnější (2.52m², 2.7W/m²K)

+-----okno - dvosklo, žaluzie vnější (2.52m², 2.7W/m²K)

Venkovní stěna

+-----ŽB strop S4 (59.2m², 1m, 0.22W/mK, 2400kg/m³, 1020kJ/kgK)

Symetrická stěna

+-----ŽB vnitřní (44.62m², 0.4m, 1.34W/mK, 2400kg/m³, 1020kJ/kgK)

Symetrická stěna

+-----ŽB vnitřní strop (59.2m², 0.8m, 0.45W/mK, 2400kg/m³, 1020kJ/kgK)

***** VSTUPNÍ ÚDAJE *****

Výpočet proveden pro období od 21.7. do 21.7.

Časový krok: 300s

Ve výpočtu bylo zavedeno:

Simulace oblačnosti: NE

Referenční rok:NE

Objem místnosti : 195.34m³

Uvažován vliv sluneční radiace: ANO

Načtená klimatická data: NE

Osvětlení[1]: 16 - 22h, 1344W

Větrání: NE

Ostatní tepelné zdroje: NE

Odpar vody: NE

Biologická produkce[1]: 16 - 22h, 75kg, počet

osob: 30

Sálavé plochy: N

***** VÝSLEDKY *****

Maxima tepelné zátěže:

21.7. 17.58h: Citelné teplo Max= 3579.47W

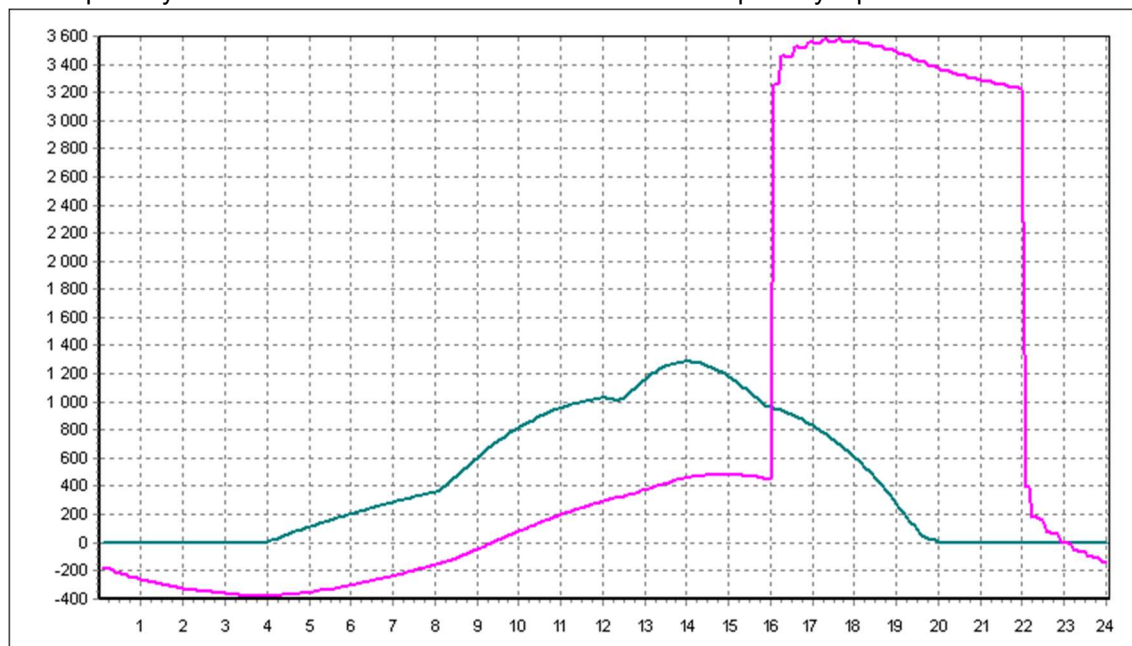
21.7. 4.08h: Citelné teplo Min= -382.01W

21.7. 17.58h: Vázané teplo=1669.84W Merna Tz = 9.7W/K

21.7. 17.58h: Potřeba chladu = 22.83kWh Potřeba tepla = 2.61kWh

Suma potřeby chladu = 22.83kWh

Suma potřeby tepla = 2.61kWh



Obr.č.74 Průběh tepelné zátěže pro místnost M103 bufet

— Celková tepelná zátěž

— Tepelné zisky okny

VÝPOČET TEPELNÉ ZÁTĚŽE – M116 A M118 ZASEDACÍ MÍSTNOSTI ZA NESTACIONÁRNÍCH PODMÍNEK

***** ZADANÉ PRVKY DO VÝPOČTU *****

Venkovní stěna

+----ŽB strop S4 (10.5m², 1m, 0.22W/mK, 2400kg/m³, 1020kJ/kgK)

+---- (0m², 0W/m²K)

+---- (0m², 0W/m²K)

+---- (0m², 0W/m²K)

Symetrická stěna

+----ŽB vnitřní strop (10.5m², 0.8m, 0.45W/mK, 2400kg/m³, 1020kJ/kgK)

Symetrická stěna

+----Ytong 150 vnitřní (27m², 0.15m, 0.15W/mK, 550kg/m³, 1000kJ/kgK)

Symetrická stěna

+----Ytong vnitřní (15.2m², 0.3m, 0.12W/mK, 550kg/m³, 1000kJ/kgK)

Symetrická stěna

+----ŽB vnitřní strop (10.5m², 0.8m, 0.45W/mK, 2400kg/m³, 1020kJ/kgK)

***** VSTUPNÍ ÚDAJE *****

Výpočet proveden pro období od 21.7. do 21.7.

Časový krok: 300s

Objem místnosti : 106.52m³

Ve výpočtu bylo zavedeno:

Simulace oblačnosti: NE

Ostatní tepelné zdroje[1]: 8 - 23h, 1200W

Referenční rok: NE

Odpar vody: NE

Uvažován vliv sluneční radiace: ANO

Biologická produkce[1]: 8 - 23h, 75kg, počet osob: 10

Načtená klimatická data: NE

Osvětlení[1]: 8 - 23h, 250W

Sálavé plochy: NE

Větrání: NE

***** VÝSLEDKY *****

Maxima tepelné zátěže:

21.7. 22.92h: Citelné teplo Max= 1843.14W

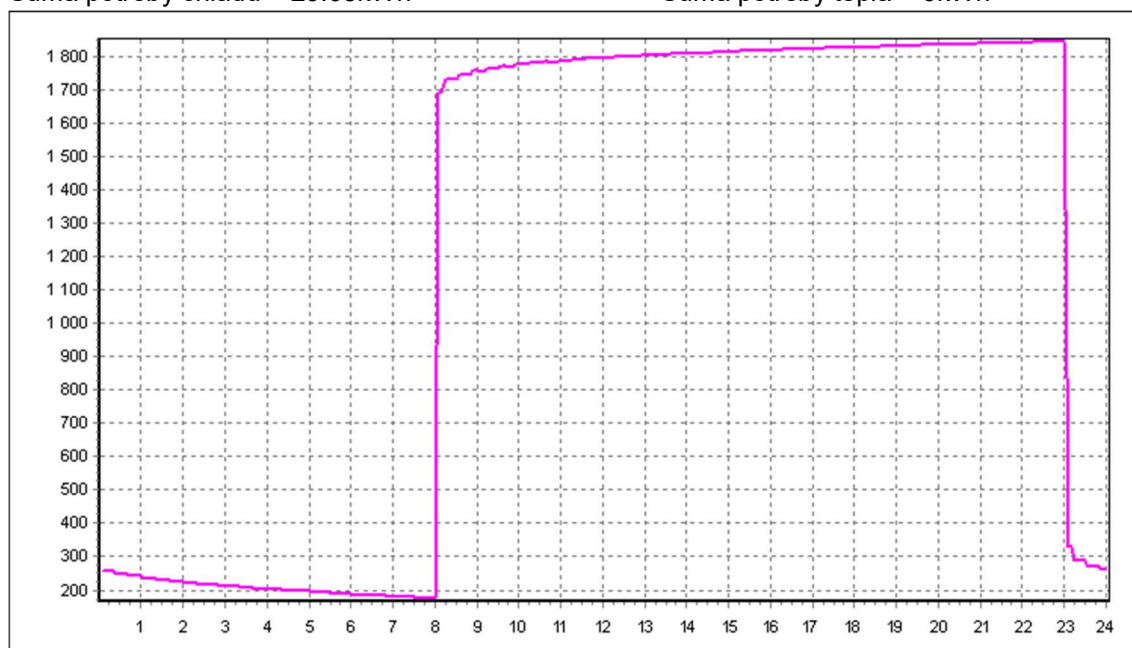
21.7. 7.92h: Citelné teplo Min= 175.2W

21.7. 22.92h: Vázané teplo=556.61W Merna Tz = -5.32W/K

21.7. 22.92h: Potřeba chladu = 29.05kWh Potřeba tepla = 0kWh

Suma potřeby chladu = 29.05kWh

Suma potřeby tepla = 0kWh



Obr.č.75 Průběh tepelné zátěže pro místnost M116 a M118 zasedací místnosti

VÝPOČET TEPELNÉ ZÁTĚŽE – M117 ZASEDACÍ MÍSTNOST
ZA NESTACIONÁRNÍCH PODMÍNEK

***** ZADANÉ PRVKY DO VÝPOČTU *****

Venkovní stěna

+----ŽB strop S4 (11.3m², 1m, 0.22W/mK, 2400kg/m³, 1020kJ/kgK)

+---- (0m², 0W/m²K)

+---- (0m², 0W/m²K)

+---- (0m², 0W/m²K)

Symetrická stěna

+----ŽB vnitřní strop (11.3m², 0.8m, 0.45W/mK, 2400kg/m³, 1020kJ/kgK)

Symetrická stěna

+----Ytong 150 vnitřní (40.4m², 0.15m, 0.15W/mK, 550kg/m³, 1000kJ/kgK)

Symetrická stěna

+-----Ytong vnitřní (16.8m², 0.3m, 0.12W/mK, 550kg/m³, 1000kJ/kgK)

Symetrická stěna

+-----ŽB vnitřní strop (11.3m², 0.8m, 0.45W/mK, 2400kg/m³, 1020kJ/kgK)

***** VSTUPNÍ ÚDAJE *****

Výpočet proveden pro období od 21.7. do 21.7.

Časový krok: 300s

Objem místnosti : 106.52m³

Ve výpočtu bylo zavedeno:

Simulace oblačnosti: NE

Ostatní tepelné zdroje[1]: 8 - 23h, 1200W

Referenční rok: NE

Odpar vody: NE

Uvažován vliv sluneční radiace: ANO

Biologická produkce[1]: 8 - 23h, 75kg, počet

Načtená klimatická data: NE

osob: 10

Osvětlení[1]: 8 - 23h, 280W

Sálavé plochy: NE

Větrání: NE

***** VÝSLEDKY *****

Maxima tepelné zátěže:

21.7. 22.92h: Citelné teplo Max= 1876.65W

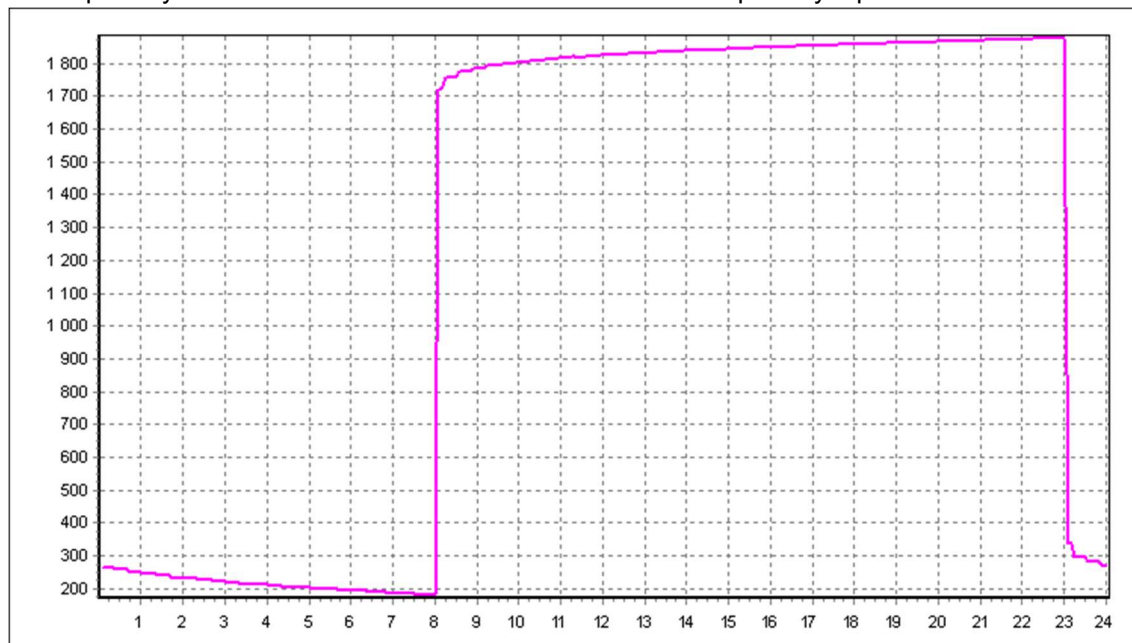
21.7. 7.92h: Citelné teplo Min= 180.61W

21.7. 22.92h: Vázané teplo=556.61W Merna Tz = -5.32W/K

21.7. 22.92h: Potřeba chladu = 29.59kWh Potřeba tepla = 0kWh

Suma potřeby chladu = 29.59kWh

Suma potřeby tepla = 0kWh



Obr.č.76 Průběh tepelné zátěže pro místnost M117 zasedací místnost

VÝPOČET TEPELNÉ ZÁTĚŽE – M111 ZÁZEMÍ UČINKUJÍCÍCH ZA NESTACIONÁRNÍCH PODMÍNEK

***** ZADANÉ PRVKY DO VÝPOČTU *****

Venkovní stěna

+-----ŽB venkovní východ (33.48m², 0.55m, 0.155W/mK, 2400kg/m³, 1020kJ/kgK)

+-----okno - dvosklo, žaluzie vnější (2.7m², 2.7W/m²K)

+-----okno - dvosklo, žaluzie vnější (2.7m², 2.7W/m²K)

+-----okno - dvosklo, žaluzie vnější (2.7m², 2.7W/m²K)
Venkovní stěna
+-----ŽB strop S4 (32.3m², 1m, 0.22W/mK, 2400kg/m³, 1020kJ/kgK)
Symetrická stěna
+-----ŽB vnitřní strop (32.3m², 0.8m, 0.45W/mK, 2400kg/m³, 1020kJ/kgK)
Symetrická stěna
+-----Ytong 150 vnitřní (26.88m², 0.15m, 0.15W/mK, 550kg/m³, 1000kJ/kgK)
Symetrická stěna
+-----Ytong vnitřní (41.58m², 0.3m, 0.12W/mK, 550kg/m³, 1000kJ/kgK)

***** VSTUPNÍ ÚDAJE *****

Výpočet proveden pro období od 21.7. do 21.7.

Časový krok: 300s

Objem místnosti : 106.52m³

Ve výpočtu bylo zavedeno:

Simulace oblačnosti: NE

Ostatní tepelné zdroje: NE

Referenční rok: NE

Odpar vody: NE

Uvažován vliv sluneční radiace: ANO

Biologická produkce[1]: 13 - 23h, 75kg, počet

Načtená klimatická data: NE

osob: 20

Osvětlení[1]: 13 - 23h, 720W

Sálavé plochy: NE

Větrání: NE

***** VÝSLEDKY *****

Maxima tepelné zátěže:

21.7. 16.92h: Citelné teplo Max= 4118.75W

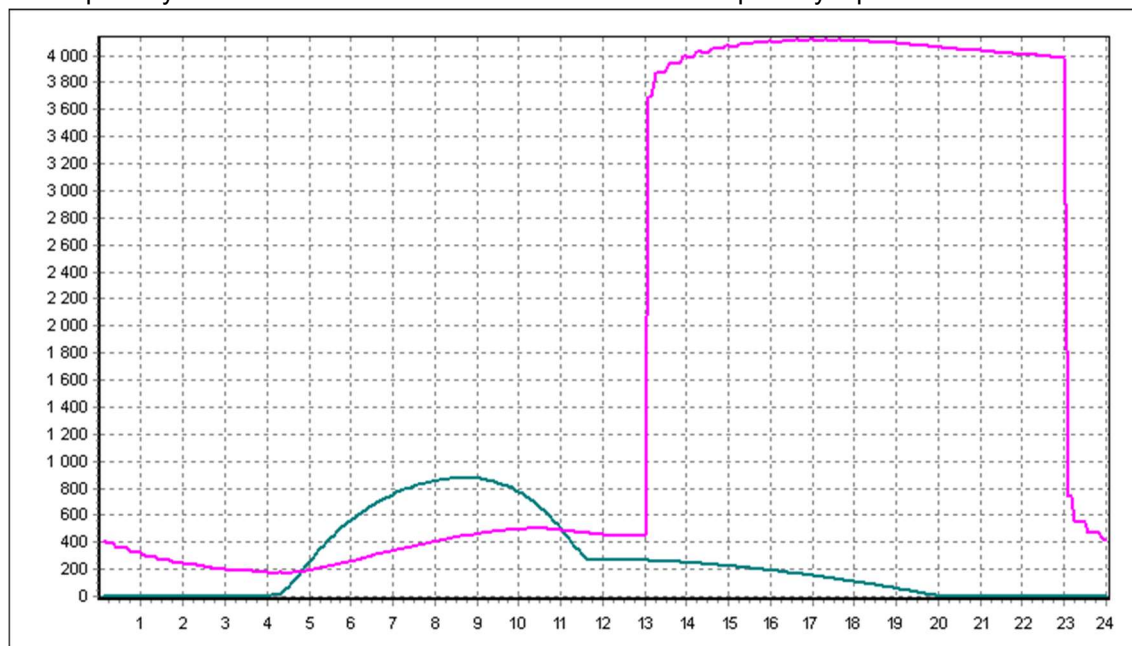
21.7. 4.42h: Citelné teplo Min= 170.24W

21.7. 16.92h: Vázané teplo=1113.23W Merna Tz = 7.97W/K

21.7. 16.92h: Potřeba chladu = 45.47kWh Potřeba tepla = 0kWh

Suma potřeby chladu = 45.47kWh

Suma potřeby tepla = 0kWh



Obr.č.77 Průběh tepelné zátěže pro místnost M111 zázemí účinkujících

----- Celková tepelná zátěž

----- Tepelné zisky okny

3.3 Průtoky vzduchu

Minimální dávka čerstvého větracího vzduchu je pro místnosti s delším pobytem osob stanovena jako 50 m³/h na osobu, v hledišti je pro sedící osoby 30 m³/h.

Tab. č. 18 návrhové hodnoty a průtoky vzduchu

Zadané hodnoty										Vypočtené hodnoty													
Místnost		Léto		Zima		Vodní zisky [g/s]		Bilance		Přívod		Odvhlčení Δx [g/kg]						Odvod					
		Relativní vlhkost [%]	Teplota [°C]	Relativní vlhkost [%]	Teplota [°C]	Tepelné zisky [W]	Tepelné ztráty [W]	Vzd na krytí tep. zisků [m³/s]	Vzd na krytí tep. ztrát [m³/s]											Vzd [m³/s]	Vzd [m³/h]	Teplota léto [°C]	Teplota zima [°C]
Zařízení č. 1 - Teplovzdušné vytápění a klimatizace prostoru sálu a jeviště																							
1	005	Jevišť	89,1	882	30	0,42	26	60	20	50	0,3	5 270	3 727	0,74	0,26	0,74	2675	20,0	22,4	3,02	0,32	0,74	2675
	006	Hlediště	138,8	1463	275	2,29	26	60	20	50	7,3	17 543	5 294	2,46	0,37	2,46	8875	20,0	22,4	6,06	2,52	2,46	8875
	Σ					2,71					7,5	22 813	9 021	3,20	0,64	3,20	11550				2,84	3,20	11550
Zařízení č. 2 - Teplovzdušné vytápění a klimatizace prostoru bufetů v 1. a 2. NP																							
2	020	Bufet	44,74	161	30	0,42	26	60	20	50	0,3	3 841	2 082	0,54	0,15	0,54	1950	20,0	23,7	12,06	0,44	0,54	1950
	103	Bufet	44,74	195	30	0,42	26	60	20	50	0,3	3 579	2 511	0,50	0,18	0,50	1800	20,0	23,7	9,28	0,47	0,50	1800
	Σ					0,83					0,6	7 420	4 593	1,04	0,32	1,04	3750				0,90	1,04	3750

Zadané hodnoty										Vypočtené hodnoty														
Č. zařízení	Č. místnosti	Název místnosti	Místnost			Léto		Zima		Bilance		Přívod							Odvod					
			Plocha [m²]	Vnitřní objem [m³]	Počet osob	Vzd/osoba [m3/s] (50;30 m3/s)	Teplota [°C]	Relativní vlhkost [%]	Teplota [°C]	Relativní vlhkost [%]	Vodní zisky [g/s]	Tepelné zisky [W]	Tepelné ztráty [W]	Vzd na krytí tep. zisků [m³/s]	Vzd na krytí tep. ztrát [m³/s]	Vzd [m3/s]	Vzd [m3/h]	Teplota léto [°C]	Teplota zima [°C]	Výměna [h ⁻¹]	Odvlhčení Δx [g/kg]	Vzd [m3/s]	Vzd [m3/h]	
Zařízení č. 3 - Teplovzdušné větrání prostoru																								
3	101	Chodba	85,66	375	-	-	26	60	15	50	-	-	0	-	-	0,20	730	26	20	1,00	-	0,10	380	
	102	Zázemí bufetu	10,08	44	-	-	26	60	20	50	-	-	474	-	-	0,00	0	26	20	0,91	-	0,01	40	
	104	Chodba	29,33	127	-	-	26	60	15	50	-	-	1 091	-	-	0,04	130	26	20	1,00	-	0,04	130	
	105	Balkónek	12,1	53	6	0,05	26	60	20	50	-	-	388	-	-	0,05	180	26	20	3,40	-	0,05	180	
	106	Chodba	13,9	61	-	-	26	60	15	50	-	-	81	-	-	0,02	60	26	20	1,00	-	0,02	60	
	107	Komora	29,7	130	-	-	26	60	15	50	-	-	352	-	-	0,02	70	26	20	0,50	-	0,02	70	
	108	Úklidový kout	5,25	23	-	-	26	60	15	50	-	-	96	-	-	0,00	0	26	20	0,50	-	0,01	50	
	109	Chodba	32,2	101	-	-	26	60	15	50	-	-	102	-	-	0,04	150	26	20	1,00	-	0,03	100	
	110	Sklad	16,5	72	-	-	26	60	15	50	-	-	457	-	-	0,01	40	26	20	0,50	-	0,01	40	
	111	Zázemí účinkujících	24,4	107	20	0,28	26	60	20	50	-	4 119	1 359	-	-	0,28	1000	26	20	9,35	-	0,28	1000	
	112	Chodba	29,45	124	-	-	26	60	15	50	-	-	0	-	-	0,03	120	26	20	1,00	-	0,03	120	
	113	Šatna	33,76	148	10	0,14	26	60	20	50	-	-	974	-	-	0,14	500	26	20	3,38	-	0,14	500	
	114	WC Muži	12,58	34	-	-	26	60	20	50	-	-	410	-	-	0,00	0	26	20	4,71	-	0,04	160	
	115	WC Ženy	10,54	28	-	-	26	60	20	50	-	-	232	-	-	0,00	0	26	20	5,36	-	0,04	150	
	116	Zasedací místnost	8,84	39	10	0,14	26	60	20	50	0,1	1 843	303	-	-	0,14	500	26	20	12,82	0,56	0,14	500	
	117	Zasedací místnost	10,14	44	10	0,14	26	60	20	50	0,1	1 877	207	-	-	0,14	500	26	20	11,36	0,56	0,14	500	
	118	Zasedací místnost	8,84	39	10	0,14	26	60	20	50	0,1	1 843	303	-	-	0,14	500	26	20	12,82	0,56	0,14	500	
Σ						0,88						9 682	6 829			1,24	4470				1,69	1,24	4470	

3.4 Distribuční elementy

Tab.č.19 Výpis distribučních elementů veškerých větraných místností

Č. zařízení	Č. místnosti	Název místnosti	Plocha [m ²]	Vnitřní objem [m ³]	Přívod/Odvod	Označení vyústky	Počet [ks]	Průtok na 1 element [m ³ /h]	Δpc [Pa]	w _L [m/s]	L _{wa} [dB]	H [m]	H _z [m]
Zařízení č. 1 - Teplovzdušné vytápění a klimatizace prostoru sálu a jeviště													
1	005	Jevišť	89,1	882	P	Kruhový difuzor TRB-315R	3	892	21	0,2	24	8,6	1,8
					O	Kruhový difuzor TRB-315C	3	892	21	-	24	8,6	1,8
	006	Hlediště	138,8	1463	P	Kruhový difuzor TRB-315R	16	555	8	0,2	22	8,3	5,4
					O	Kruhový difuzor TRB-315C	16	555	8	-	22	8,3	5,4
Zařízení č. 2 - Teplovzdušné vytápění a klimatizace prostoru bufetů v 1. a 2. NP													
2	020	Bufet	44,74	161	P	Vířivá výúst Halton TSB-250	3	650	40	0,15	38	2,8	1,8
					O	Vířivá výúst Halton TSB-315	2	975	58	-	46	2,8	1,8
	103	Bufet	44,74	195	P	Vířivá výúst Halton TSB-250	3	600	34	0,15	36	3,3	1,8
					O	Vířivá výúst Halton TSB-315	2	900	49	-	43	3,3	2,3

Č. zařízení	Č. místnosti	Název místnosti	Plocha [m ²]	Vnitřní objem [m ³]	Přívod/Odvod	Označení výústky	Počet [ks]	Průtok na 1 element [m ³ /h]	Δpc [Pa]	w _L [m/s]	L _{wa} [dB]	H [m]	H _z [m]
Zařízení č. 3 - Teplovzdušné větrání prostoru													
3	101	Chodba	85,66	375	P	Vířivá výúst Halton TSS/B-250	2	365	32	0,15	33	3,3	1,8
					O	Vířivá výúst Halton TSS/B-250	1	380	34	-	34	3,3	1,8
	102	Zázemí bufetu	10,08	44	O	Vířivá výúst Halton TSS/B-125	1	40	9	-	16	3,3	1,8
	104	Chodba	29,33	127	P,O	Vířivá výúst Halton TSS/B-160	2	130	31	0,1	30	3,3	1,8
	105	Balkónek	12,1	53	P,O	Vířivá výúst Halton TSS/B-200	2	180	22	0,1	27	3,3	1,8
	106	Chodba	13,9	61	P,O	Vířivá výúst Halton TSS/B-125	2	60	20	0,2	24	3,3	1,8
	107	Komora	29,7	130	P,O	Vířivá výúst Halton TSS/B-125	2	70	25	0,2	26	3,3	1,8
	108	Úklidový kout	5,25	23	O	Vířivá výúst Halton TSS/B-125	1	50	14	-	20	3,3	1,8
	109	Chodba	32,2	101	P	Vířivá výúst Halton TSS/B-160	1	150	42	0,15	34	3,3	1,8
					O	Vířivá výúst Halton TSS/B-160	1	100	19	-	25	3,3	1,8
	110	Sklad	16,5	72	P,O	Vířivá výúst Halton TSS/B-125	2	40	9	0,2	16	3,3	1,8
	111	Zázemí učinkujících	24,4	107	P,O	Vířivá výúst Halton TSB-250	4	500	24	0,15	30	3,3	1,8
	112	Chodba	29,45	124	P,O	Vířivá výúst Halton TSS/B-160	2	120	26	0,15	28	3,3	1,8
	113	Šatna	33,76	148	P,O	Vířivá výúst Halton TSB-250	2	500	24	0,15	30	3,3	1,8
	114	WC Muži	12,58	34	O	Vířivá výúst Halton TSR/B-125	2	50	14	-	20	3,3	1,8
					O	Vířivá výúst Halton TSR/B-125	1	60	20	-	24	3,3	1,8
	115	WC Ženy	10,54	28	O	Vířivá výúst Halton TSR/B-125	2	50	14	-	20	3,3	1,8
	116	Zasedací místnost	8,84	39	P,O	Vířivá výúst Halton TSB-250	2	500	24	0,15	30	3,3	1,8
	117	Zasedací místnost	10,14	44	P,O	Vířivá výúst Halton TSB-250	2	500	24	0,15	30	3,3	1,8
	118	Zasedací místnost	8,84	39	P,O	Vířivá výúst Halton TSB-250	2	500	24	0,15	30	3,3	1,8

DISTRIBUCE V HLEDIŠTI A JEVIŠTI

Budou použity nastavitelné kruhové difuzory Halton TRB. V hledišti zabudované do podhledu a v jevišti volně zavěšené pod stropem. Přívodní difuzory jsou v provedení radiálního výstupu vzduchu a odvodní difuzory v provedení kompaktního sání vzduchu. Jejich velikost napojení je 315 mm. Difuzory budou na čtyřhranný vzduchovod napojeny přes ohebnou sonoflex hadici. Mezi vzduchovodem a sonoflex hadicí bude regulační klapka pro regulaci průtoku pro daný difuzor.



Obr.č.78 nastavitelný kruhový difuzor Halton TRB

DISTRIBUCE V HYGIENICKÝCH MÍSTNOSTÍ

V hygienických místnostech je pouze vzduch odváděn. Vzhledem k přidružené chodbě jsou hygienické místnosti v podtlaku. Množství odváděného vzduchu bylo stanoveno jako součet minimálních množství vzduchu na jednotlivé zařizovací předměty:

wc – 50 m³/h

umyvadlo 25 m³/h

pisoiár 30 m³/h



Obr.č.79 Talířový ventil URH

Pro hygienické místnosti M114 a M115 jsou navrženy talířové ventily HALTON URH s přípojovací dimenzí 125 mm. Výustě budou zbudovány do rovného podhledu a na vzduchovod připojeny ohebnou sonoflex hadicí. Mezi vzduchovodem a sonoflex hadicí bude regulační klapka pro regulaci průtoku pro danou výust'.

DISTRIBUCE V OSTATNÍCH MÍSTNOSTÍ

Pro ostatní místnosti jsou podle účelu navrženy dva typy distribučních elementů. Prvním je pro menší průtoky vzduchu vířivá výust' Halton TSS/B a pro místnosti s vyšším průtokem vzduchu Halton TSB. Všechny distribuční elementy jsou na vzduchovod napojeny ohebnou sonoflex hadicí s regulační klapkou mezi vzduchovodem a sonoflex.

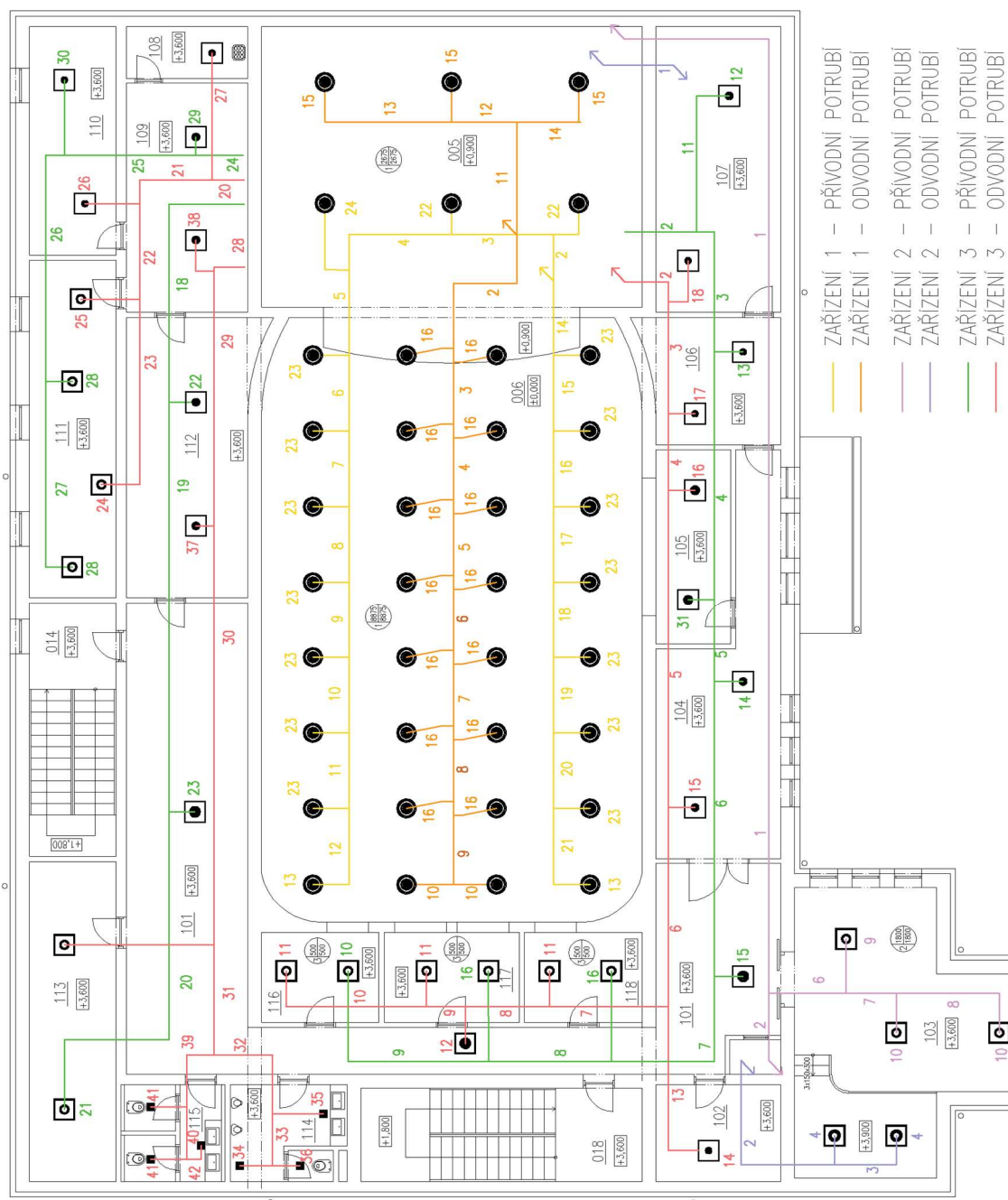


Obr.č.80 Vířivá výust' TSS

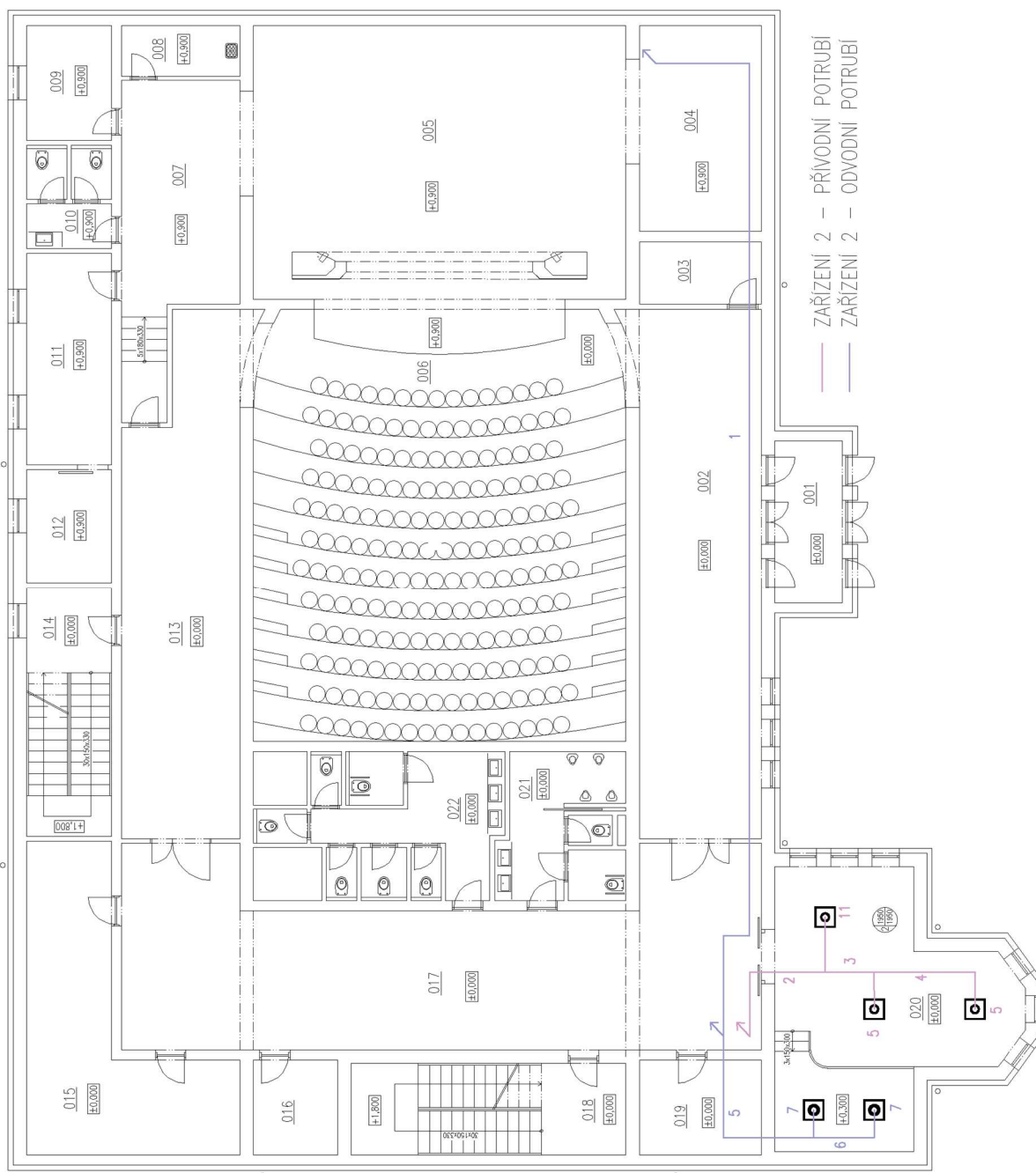


Obr.č.81 Vířivá výust' TSB

3.5 Dimenzování potrubí a tlakové ztráty rozvodů



Obr.č.82 Dimenzační schéma 2.NP



Obr.č.83 Dimenzační schéma 1.NP

Tab. č.20 dimenzování potrubí

HODNOTY																	CELKOVÁ TLAKOVÁ ZTRÁTA		Poznámka
Předběžné										Skutečné									
Č.Ú.	Objemový průtok		Délka potrubí	Rychlost	Plocha průřezu	Ekvivalentní průměr	Rozměr	Ekvivalentní průměr	d _r [m]	S [m ²]	w [m/s]	R ₁ [Pa/m]	P _d [Pa]	Souč. místního odporu	Třením v potrubí	Místními odpory			
	V [m ³ /h]	V [m ³ /s]		l [m]	w' [m/s]	S' [m ²]											d _r ' [m]		
Zařízení č. 1 - Přívodní potrubí - hlavní úsek																			
1	11550	3,208	4,00	5,00	0,642	0,904	800	900	0,900	0,636	5,04	0,30	15,006	0,5	1,200	7,503	1x Oblouk, Zúžení		
2	7110	1,975	1,40	4,86	0,406	0,719	800	560	0,735	0,424	4,65	0,30	12,784	1,0	0,420	12,784	1x Rozbočka		
3	6224	1,729	2,90	4,69	0,369	0,685	800	500	0,693	0,377	4,58	0,35	12,396	0,8	1,015	9,917	1x Rozbočka		
4	5332	1,481	3,90	4,52	0,328	0,646	800	450	0,655	0,337	4,40	0,35	11,399	0,5	1,365	5,700	1x T-kus, Oblouk		
5	4440	1,233	2,40	4,35	0,284	0,601	800	400	0,616	0,298	4,14	0,30	10,104	1,3	0,720	13,136	1x Odbočka		
6	3885	1,079	2,20	4,18	0,258	0,573	800	355	0,578	0,262	4,11	0,35	9,980	0,3	0,770	2,994	1x T-kus		
7	3330	0,925	2,20	4,02	0,230	0,541	800	315	0,541	0,230	4,02	0,35	9,554	0,3	0,770	2,866	1x T-kus		
8	2775	0,771	2,20	3,85	0,200	0,505	710	315	0,512	0,206	3,74	0,32	8,270	0,3	0,704	2,481	1x T-kus		
9	2220	0,617	2,20	3,68	0,168	0,462	560	315	0,459	0,165	3,73	0,40	8,194	0,3	0,880	2,458	1x T-kus		
10	1665	0,463	2,20	3,51	0,132	0,410	560	250	0,406	0,129	3,57	0,40	7,530	0,3	0,880	2,259	1x T-kus		
11	1110	0,308	2,20	3,34	0,092	0,343	560	200	0,359	0,101	3,05	0,35	5,474	0,3	0,770	1,642	1x T-kus		
12	555	0,154	2,20	3,17	0,049	0,249	355	160	0,258	0,052	2,95	0,50	5,131	0,3	1,100	1,539	1x T-kus		
13	555	0,154	1,00	3,00	0,051	0,256	-	-	0,315	0,078	1,98	0,20	2,309	0,4	0,200	0,924	1x Kolen s lopatky		
A	11550	3,208	2,90	2,00	1,604	1,429	1400	1250	1,456	1,665	1,93	0,15	2,191	0,5	0,435	1,095	1x Oblouk, Zúžení		
Σ													Σ	11,229	67,298				
Σ													Σ	78,527					
Δp _v [Pa]													Δp _v [Pa]	8		Výúst			
Δp _R [Pa]													Δp _R [Pa]	10		Regulační klapka			
Δp _p [Pa]													Δp _p [Pa]	7		Požární klapka			
Δp _T [Pa]													Δp _T [Pa]	12		Tlumič			
Δp _ž [Pa]													Δp _ž [Pa]	17		Sací žaluzie			
Σ													Σ	132,527					

HODNOTY															CELKOVÁ TLAKOVÁ ZTRÁTA		Poznámka
Předběžné										Skutečné							
Č.Ú.	V [m³/h]	V [m³/s]	Délka potrubí l [m]	Rychlost w' [m/s]	S' [m²]	Ekvivalentní průměr d _r ' [m]	Rozměr a*b [mm]	Ekvivalentní průměr d _r [m]	Plocha průřezu S [m²]	Rychlost w [m/s]	R ₁ [Pa/m]	Dynamický tlak P _d [Pa]	Souč. místního odporu ξ [-]	R ₁ *l [Pa]	ξ*P _d [Pa]		
Zařízení č. 1 - Odvodní potrubí - hlavní úsek																	
1	11550	3,208	3,60	5,00	0,642	0,904	1000	710	0,925	0,672	4,77	0,30	13,448	0,7	1,080	9,414	2x Oblouk, Zúžení
2	8880	2,467	4,90	4,76	0,518	0,812	800	710	0,830	0,541	4,56	0,25	12,263	1,4	1,225	17,168	2x Oblouk, Rozbočka
3	7770	2,158	2,20	4,54	0,475	0,778	800	630	0,781	0,479	4,51	0,25	11,976	1,0	0,550	11,976	2x T-kus
4	6660	1,850	2,20	4,32	0,428	0,738	800	560	0,735	0,424	4,36	0,30	11,217	1,0	0,660	11,217	2x T-kus
5	5550	1,542	2,20	4,10	0,376	0,692	800	500	0,693	0,377	4,09	0,25	9,856	1,0	0,550	9,856	2x T-kus
6	4440	1,233	2,20	3,88	0,318	0,636	800	400	0,616	0,298	4,14	0,30	10,104	1,0	0,660	10,104	2x T-kus
7	3330	0,925	2,20	3,66	0,253	0,567	800	355	0,578	0,262	3,53	0,25	7,332	1,0	0,550	7,332	2x T-kus
8	2220	0,617	2,20	3,44	0,179	0,478	500	355	0,463	0,168	3,66	0,35	7,915	1,0	0,770	7,915	2x T-kus
9	1110	0,308	2,60	3,22	0,096	0,349	355	250	0,327	0,084	3,67	0,55	7,953	1,0	1,430	7,953	2x T-kus
10	555	0,154	1,50	3,00	0,051	0,256	-	-	0,315	0,078	1,98	0,20	2,309	1,0	0,300	2,309	1x Rozbočka
A	11550	3,208	5,90	5,00	0,642	0,904	900	800	0,900	0,636	5,04	0,30	15,006	0,5	1,770	7,503	1x Oblouk, Zúžení
													Σ	9,545	102,747		
													Σ	112,292			
													Δp _v [Pa]	8		Výúst	
													Δp _R [Pa]	10		Regulační klapka	
													Δp _p [Pa]	7		Požární klapka	
													Δp _T [Pa]	12		Tlumič	
													Σ	149,292			

				HODNOTY				
				Předběžné			Skutečné	
Č.Ú.	Objemový průtok		Délka potrubí	Rychlost	Plocha průřezu	Ekvivalentní průměr	Rozměr	
-	V [m³/h]	V [m³/s]	l [m]	w' [m/s]	S' [m²]	d _r ' [m]	a*b [mm]	
Zařízení č. 1 - Přívodní potrubí								
14	4440	1,233	2,10	4,35	0,284	0,601	800	400
15	3885	1,079	2,20	4,18	0,258	0,573	800	355
16	3330	0,925	2,20	4,02	0,230	0,541	800	315
17	2775	0,771	2,20	3,85	0,200	0,505	710	315
18	2220	0,617	2,20	3,68	0,168	0,462	560	315
19	1665	0,463	2,20	3,51	0,132	0,410	560	250
20	1110	0,308	2,20	3,34	0,092	0,343	560	200
21	555	0,154	2,20	3,17	0,049	0,249	355	160
22	892	0,248	1,00	3,00	0,083	0,324	315	
23	555	0,154	1,00	3,00	0,051	0,256	315	
24	895	0,249	3,00	3,00	0,083	0,325	315	

				HODNOTY				
				Předběžné			Skutečné	
Č.Ú.	Objemový průtok		Délka potrubí	Rychlost	Plocha průřezu	Ekvivalentní průměr	Rozměr	
-	V [m³/h]	V [m³/s]	l [m]	w' [m/s]	S' [m²]	d _r ' [m]	a*b [mm]	
Zařízení č. 1 - Odvodní potrubí								
11	2670	0,742	3,20	4,50	0,165	0,458	500	355
12	1778	0,494	1,90	4,00	0,123	0,396	500	250
13	892	0,248	3,70	3,50	0,071	0,300	500	160
14	892	0,248	1,80	3,50	0,071	0,300	500	160
15	892	0,248	1,50	3,00	0,083	0,324	315	
16	555	0,154	1,50	3,00	0,051	0,256	315	

HODNOTY															CELKOVÁ TLAKOVÁ ZTRÁTA		Poznámka
Předběžné										Skutečné					Třením v potrubí	Místními odpory	
Č.Ú.	Objemový průtok		Délka potrubí	Rychlost	Plocha průřezu	Ekvivalentní průměr	Rozměr	Ekvivalentní průměr	Plocha průřezu	Rychlost	Tlaková ztráta třením	Dynamický tlak	Souč. místního odporu	R ₁ * [Pa]			
-	V [m³/h]	V [m³/s]	l [m]	w' [m/s]	S' [m²]	d _r ' [m]	a*b [mm]	d _r [m]	S [m²]	w [m/s]	R ₁ [Pa/m]	P _d [Pa]	ξ [-]				
Zařízení č. 2 - Přívodní potrubí - hlavní úsek																	
14	3750	1,042	36,30	5,00	0,208	0,515	500	0,522	0,214	4,87	0,55	13,978	0,9	19,965	12,580	3x Oblouk, Zúžení	
2	1950	0,542	10,10	4,50	0,120	0,391	500	0,385	0,116	4,65	0,70	12,773	0,9	7,070	11,496	3x Oblouk, T-kus	
3	1300	0,361	1,45	4,00	0,090	0,339	400	0,346	0,094	3,84	0,50	8,703	0,3	0,725	2,611	1x T-kus	
4	650	0,181	3,00	3,50	0,052	0,256	400	0,273	0,059	3,08	0,45	5,614	0,3	1,350	1,684	1x T-kus	
5	650	0,181	1,50	3,00	0,060	0,277	-	0,250	0,049	3,68	1,50	7,982	0,4	2,250	3,193	1x Koleno s lopatky	
A	3750	1,042	2,90	2,00	0,521	0,814	1000	0,817	0,524	1,99	0,06	2,329	0,5	0,174	1,165	1x Oblouk, Zúžení	
													Σ	31,534	32,729		
													Σ	64,263			
													Δp _v [Pa]	40	Výúst		
													Δp _R [Pa]	10	Regulační klapka		
													Δp _p [Pa]	7	Požární klapka		
													Δp _T [Pa]	12	Tlumič		
													Δp _ž [Pa]	17	Sací žaluzie		
													Σ	150,263			

HODNOTY															CELKOVÁ TLAKOVÁ ZTRÁTA		Poznámka
Skutečné																	
Č.Ú.	Objemový průtok		Délka potrubí	Rychlost	Plocha průřezu	Ekvivalent ní průměr	Rozměr	Ekvivalent ní průměr	Rychlost	Tlaková ztráta třením	Tlaková ztráta místní	Souč. místního odporu	Třením v potrubí	Místními odpory			
												ξ [-]				R ₁ [Pa/m]	P _d [Pa]
Zařízení č. 2 - Odvodní potrubí - hlavní úsek																	
1	3750	1,042	42,90	5,00	0,208	0,515	500	0,522	0,214	4,87	0,50	13,978	1,9	21,450	26,558	8x Oblouk, Zúžení	
2	1800	0,500	9,80	4,60	0,109	0,372	500	0,385	0,116	4,29	0,70	10,884	0,9	6,860	9,795	2x Oblouk, odbočka	
3	900	0,250	1,80	3,70	0,068	0,293	315	0,309	0,075	3,33	0,50	6,557	1,0	0,900	6,557	1x T-kus	
4	900	0,250	1,00	3,00	0,083	0,326	-	0,315	0,078	3,21	1,80	6,072	0,4	1,800	2,429	1x Koleno s lopatky	
A	3750	1,042	5,90	5,00	0,208	0,515	500	0,522	0,214	4,87	0,50	13,978	0,2	2,950	2,796	1x Oblouk	
Σ													33,960	48,135			
Σ													82,095				
Δp _v [Pa]													58		Výúst		
Δp _R [Pa]													10		Regulační klapka		
Δp _p [Pa]													7		Požární klapka		
Δp _T [Pa]													12		Tlumič		
Σ													169,095				

HODNOTY							
				Předběžné			Skutečné
				Rychlost	Plocha průřezu	Ekvivalentní průměr	Rozměr
Č.Ú.	V [m³/h]	V [m³/s]	l [m]	w' [m/s]	S' [m²]	d _r ' [m]	a*b [mm]
-							
Zařízení č. 2 - Přívodní potrubí							
6	1800	0,500	2,20	4,30	0,116	0,385	500 250
7	1200	0,333	1,45	3,70	0,090	0,339	400 250
8	600	0,167	3,00	3,00	0,056	0,266	400 160
9	600	0,167	2,00	3,00	0,056	0,266	250
10	600	0,167	1,50	3,00	0,056	0,266	250
11	650	0,181	2,00	3,00	0,060	0,277	250

HODNOTY							
				Předběžné			Skutečné
				Rychlost	Plocha průřezu	Ekvivalentní průměr	Rozměr
Č.Ú.	V [m³/h]	V [m³/s]	l [m]	w' [m/s]	S' [m²]	d _r ' [m]	a*b [mm]
-							
Zařízení č. 2 - Odvodní potrubí							
5	1950	0,542	5,70	4,60	0,118	0,387	500 250
6	975	0,271	1,80	3,70	0,073	0,305	315 250
7	975	0,271	1,00	3,00	0,090	0,339	315

HODNOTY										CELKOVÁ TLAKOVÁ ZTRÁTA		Poznámka					
Předběžné					Skutečné												
Č.Ú.	Objemový průtok		Délka potrubí	Rychlost	Plocha průřezu	Ekvivalentní průměr	Rozměr	Ekvivalentní průměr	Plocha průřezu	Rychlost	Tlaková ztráta třením	Tlaková ztráta místní	Souč. místního odporu	Třením v potrubí	Místními odpory		
-	V [m³/h]	V [m³/s]	l [m]	w' [m/s]	S' [m²]	d _r ' [m]	a*b [mm]	d _r [m]	S [m²]	w [m/s]	R ₁ [Pa/m]	P _d [Pa]	ξ [-]	R ₁ *l [Pa]	ξ*P _d [Pa]		
Zařízení č. 3 - Přívodní potrubí - hlavní úsek																	
1	4480	1,244	1,00	5,00	0,249	0,563	500	560	0,560	0,246	5,05	15,062	0,3	0,500	4,518	1x Zúžení	
2	2305	0,640	8,90	4,75	0,135	0,414	355	450	0,424	0,141	4,53	12,132	0,9	4,450	10,919	3x Oblouk, T-kus	
3	2235	0,621	4,05	4,50	0,138	0,419	355	450	0,424	0,141	4,40	11,407	0,5	2,025	5,703	1x Oblouk, T-kus	
4	2175	0,604	7,15	4,25	0,142	0,425	355	450	0,424	0,141	4,28	10,802	0,1	3,575	1,080	1x T-kus	
5	1995	0,554	2,40	4,00	0,139	0,420	355	450	0,424	0,141	3,92	9,088	0,1	0,960	0,909	1x T-kus	
6	1865	0,518	8,50	3,75	0,138	0,419	355	450	0,424	0,141	3,67	7,943	0,1	2,975	0,794	1x T-kus	
7	1500	0,417	5,40	3,50	0,119	0,389	355	355	0,391	0,120	3,47	7,105	0,5	2,430	3,552	1x Oblouk, T-kus	
8	1000	0,278	3,55	3,25	0,085	0,330	355	250	0,327	0,084	3,31	6,455	0,3	1,420	1,936	1x Tkus	
9	500	0,139	4,90	3,00	0,046	0,243	250	200	0,246	0,048	2,92	5,038	0,5	1,715	2,519	1x Oblouk, T-kus	
10	500	0,139	2,00	3,00	0,046	0,243	-	-	0,250	0,049	2,83	4,723	0,3	1,400	1,417	1x Změná průřezu	
A	4480	1,244	6,60	5,00	0,249	0,563	500	560	0,560	0,246	5,05	15,062	0,7	3,300	10,543	2x Koleno, Zúžení	
B	4480	1,244	1,00	2,00	0,622	0,890	1000	710	0,925	0,672	1,85	2,023	0,3	0,060	0,607	1x Zúžení	
													Σ	24,750	43,892		
													Σ	68,642			
													Δp _v [Pa]	24			Výust'
													Δp _R [Pa]	10			Regulační klapka
													Δp _p [Pa]	7			Požární klapka
													Δp _T [Pa]	12			Tlumič
													Δp _ž [Pa]	17			Sací žaluzie
													Σ	138,642			

HODNOTY															Poznámka	
Skutečné																
Předběžné																
Č.Ú.	Objemový průtok		Délka potrubí	Rychlost	Plocha průřezu	Ekvivalentní průměr	Rozměr	d _r [m]	S [m ²]	w [m/s]	R ₁ [Pa/m]	P _d [Pa]	Souč. místního odporu	Třením v potrubí	Místními odpory	
	V [m ³ /h]	V [m ³ /s]	l [m]	w' [m/s]	S' [m ²]	d _r ' [m]	a*b [mm]	d _r [m]	S [m ²]	w [m/s]	R ₁ [Pa/m]	P _d [Pa]	ξ [-]	R ₁ *l [Pa]	ξ*P _d [Pa]	
Zařízení č. 3 - Odvodní potrubí - hlavní úsek																
1	4480	1,244	1,60	5,00	0,249	0,563	500	560	0,246	5,05	0,50	15,062	0,3	0,800	4,518	1x Zúžení
2	2360	0,656	9,50	4,76	0,138	0,419	355	450	0,141	4,64	0,65	12,718	1,1	6,175	13,990	4x Koleno, T-kus
3	2290	0,636	3,20	4,54	0,140	0,422	355	450	0,141	4,51	0,60	11,975	0,1	1,920	1,197	1x T-kus
4	2230	0,619	2,20	4,32	0,143	0,427	355	450	0,141	4,39	0,60	11,356	0,1	1,320	1,136	1x T-kus
5	2050	0,569	9,20	4,10	0,139	0,421	355	450	0,141	4,03	0,55	9,596	0,1	5,060	0,960	1x T-kus
6	1920	0,533	5,75	3,88	0,137	0,418	355	450	0,141	3,78	0,45	8,418	0,1	2,588	0,842	1x T-kus
7	1880	0,522	3,40	3,66	0,143	0,426	500	315	0,135	3,86	0,40	8,794	1,0	1,360	8,794	1x Odbočka
8	1380	0,383	2,40	3,44	0,111	0,377	355	315	0,106	3,60	0,45	7,664	0,3	1,080	2,299	1x T-kus
9	1000	0,278	1,10	3,22	0,086	0,331	355	250	0,084	3,31	0,50	6,455	0,3	0,550	1,936	1x T-kus
10	500	0,139	4,06	3,00	0,046	0,243	250	200	0,246	2,92	0,50	5,038	0,3	2,030	1,511	1x T-kus
11	500	0,139	1,50	3,00	0,046	0,243	-	-	0,250	0,049	0,80	4,723	0,4	1,200	1,889	1x koleno s lopatky
A	4480	1,244	5,60	5,00	0,249	0,563	500	560	0,246	5,05	0,50	15,062	0,5	2,800	7,531	1x Oblouk, Zúžení
Σ													Σ	26,883	46,604	
													Σ	73,487		
													Δp _v [Pa]	24		Výúst
													Δp _R [Pa]	10		Regulační klapka
													Δp _p [Pa]	7		Požární klapka
													Δp _T [Pa]	12		Tlumič
Σ													Σ	126,487		

				HODNOTY				
				Předběžné			Skutečné	
Č.Ú.	Objemový průtok		Délka potrubí	Rychlost	Plocha průřezu	Ekvivalentní průměr	Rozměr	
-	V [m³/h]	V [m³/s]	l [m]	w' [m/s]	S' [m²]	d' [m]	a*b [mm]	
Zařízení č. 3 - Přívodní potrubí								
11	70	0,019	3,90	3,00	0,006	0,091	100	100
12	70	0,019	1,50	3,00	0,006	0,091	125	
13	60	0,017	1,50	3,00	0,006	0,084	125	
14	130	0,036	1,50	3,00	0,012	0,124	160	
15	365	0,101	1,50	3,00	0,034	0,207	250	
16	500	0,139	3,00	3,00	0,046	0,243	250	
17	2175	0,604	15,00	4,60	0,131	0,409	560	250
18	985	0,274	12,80	4,20	0,065	0,288	250	250
19	865	0,240	11,90	3,80	0,063	0,284	250	250
20	500	0,139	9,90	3,40	0,041	0,228	250	160
21	500	0,139	1,70	3,00	0,046	0,243	250	
22	120	0,033	1,00	3,00	0,011	0,119	160	
23	365	0,101	1,00	3,00	0,034	0,207	250	
24	1190	0,331	6,60	4,28	0,077	0,314	315	250
25	1040	0,289	3,80	3,96	0,073	0,305	315	250
26	1000	0,278	7,10	3,64	0,076	0,312	315	250
27	500	0,139	5,40	3,32	0,042	0,231	200	250
28	500	0,139	1,00	3,00	0,046	0,243	250	
29	150	0,042	1,00	3,00	0,014	0,133	160	
30	40	0,011	3,00	3,00	0,004	0,069	125	
31	180	0,050	1,50	3,00	0,017	0,146	200	

				HODNOTY				
				Předběžné			Skutečné	
Č.Ú.	Objemový průtok		Délka potrubí	Rychlost	Plocha průřezu	Ekvivalentní průměr	Rozměr	
-	V [m³/h]	V [m³/s]	l [m]	w' [m/s]	S' [m²]	d _r ' [m]	a*b [mm]	
Zařízení č. 3 - Odvodní potrubí								
12	380	0,106	1,50	3,00	0,035	0,212	250	
13	40	0,011	4,15	3,50	0,003	0,064	100	100
14	40	0,011	1,00	3,00	0,004	0,069	125	
15	130	0,036	1,00	3,00	0,012	0,124	160	
16	180	0,050	1,00	3,00	0,017	0,146	200	
17	60	0,017	1,00	3,00	0,006	0,084	125	
18	70	0,019	2,00	3,00	0,006	0,091	125	
19	2120	0,589	16,20	4,66	0,126	0,401	560	250
20	1090	0,303	6,10	4,33	0,070	0,298	315	250
21	1040	0,289	2,80	3,99	0,072	0,304	315	250
22	1000	0,278	2,70	3,66	0,076	0,311	315	250
23	500	0,139	5,30	3,33	0,042	0,230	200	250
24	500	0,139	1,50	3,00	0,046	0,243	250	
24	500	0,139	2,00	3,00	0,046	0,243	250	
26	40	0,011	2,00	3,00	0,004	0,069	125	
27	50	0,014	4,50	3,00	0,005	0,077	125	
28	1030	0,286	7,10	4,44	0,064	0,286	250	250
29	930	0,258	7,45	4,20	0,062	0,280	250	250
30	810	0,225	12,10	3,96	0,057	0,269	250	200
31	310	0,086	3,20	3,72	0,023	0,172	160	160
32	160	0,044	3,40	3,48	0,013	0,128	100	160
33	110	0,031	1,50	3,24	0,009	0,110	100	100
34	60	0,017	1,50	3,00	0,006	0,084	125	

				HODNOTY			
				Předběžné			Skutečné
Č.Ú.	Objemový průtok		Délka potrubí	Rychlost	Plocha průřezu	Ekvivalentní průměr	Rozměr
-	V [m³/h]	V [m³/s]	l [m]	w' [m/s]	S' [m²]	d _r ' [m]	a*b [mm]
Zařízení č. 3 - Odvodní potrubí							
35	50	0,014	2,00	3,00	0,005	0,077	125
36	50	0,014	1,50	3,00	0,005	0,077	125
37	120	0,033	1,00	3,00	0,011	0,119	160
38	100	0,028	2,00	3,00	0,009	0,109	160
39	150	0,042	2,30	3,48	0,012	0,123	100 160
40	100	0,028	1,50	3,24	0,009	0,104	100 100
41	50	0,014	1,00	3,00	0,005	0,077	125
42	50	0,014	0,50	3,00	0,005	0,077	125

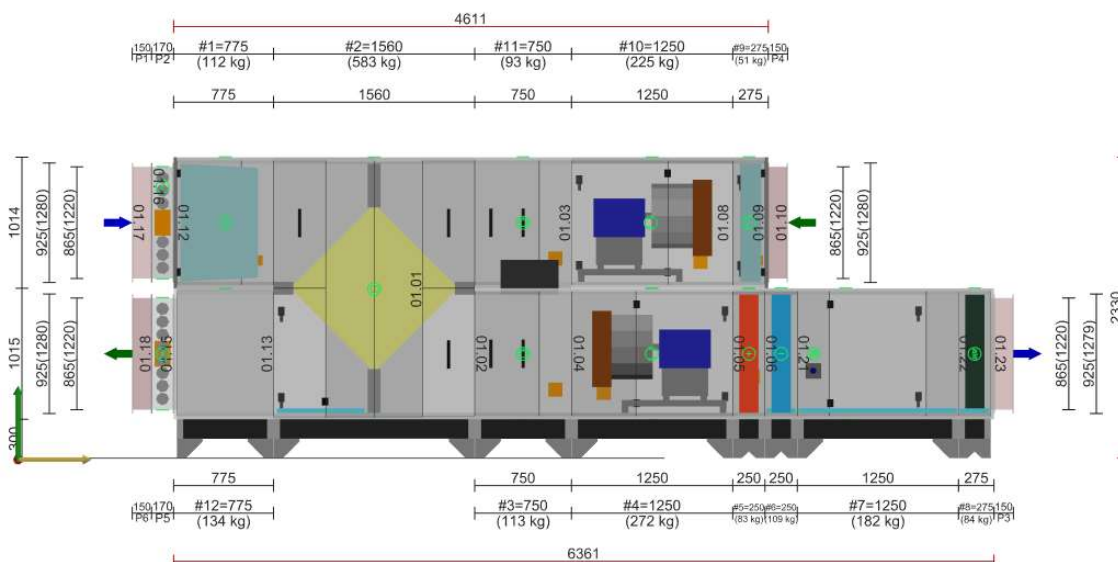
3.6 Vzduchotechnické jednotky

Návrh jednotek byl proveden v program AeroCAD od společnosti REMAK a.s.

ZAŘÍZENÍ Č.1

VZT jednotka č. 1 obsluhuje jeviště a hlediště. Návrh jednotky byl proveden v program AeroCAD od společnosti REMAK a.s. Jedná se o modelovou řadu Aeromaster XP 17. Vzduchotechnická jednotka je umístěna ve strojovně nad 2.NP.

Jednotka je navržena na teplovzdušné vytápění a klimatizaci. Obsahuje filtr M5 na přívodu a filtr G3 na odvodu, deskový přímý výměník pro zpětné získávání tepla, směšování přívodního vzduchu s odvodním, ohřívač, chladič, parní zvlhčovač a ventilátor na přívodu i odvodu. Do jednotky je přivedená otopná voda 70/55 °C, chladicí voda 7/13 °C a voda pro vytváření páry.

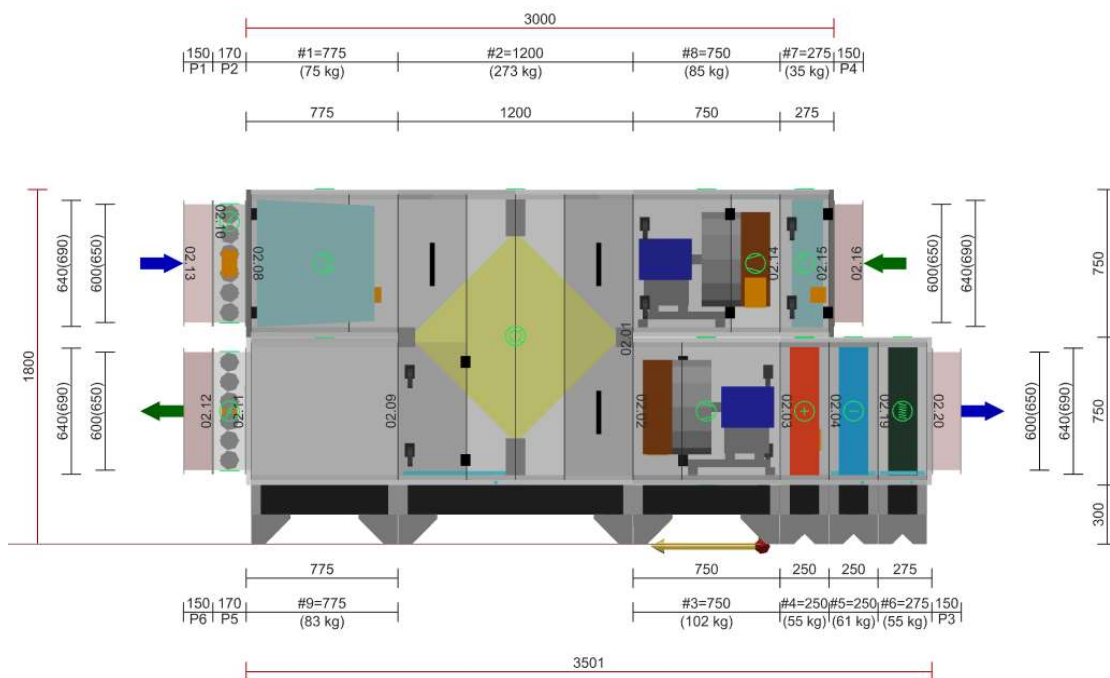


Obr.č.84 Schéma vzduchotechnické jednotky č. 1

ZAŘÍZENÍ Č.2

VZT jednotka č. 2 obsluhuje dva bufety. Návrh jednotky byl proveden v program AeroCAD od společnosti REMAK a.s. Jedná se o modelovou řadu Aeromaster XP 06. Vzduchotechnická jednotka je umístěna ve strojovně nad 2.NP.

Jednotka je navržena na teplovzdušné vytápění a klimatizaci. Jednotka obsahuje filtr M5 na přívodu a filtr G3 na odvodu, deskový přímý výměník pro zpětné získávání tepla, ohřívač, chladič a ventilátor na přívodu i odvodu. Do jednotky je přivedená otopná voda 70/55 °C a chladicí voda 7/13 °C.

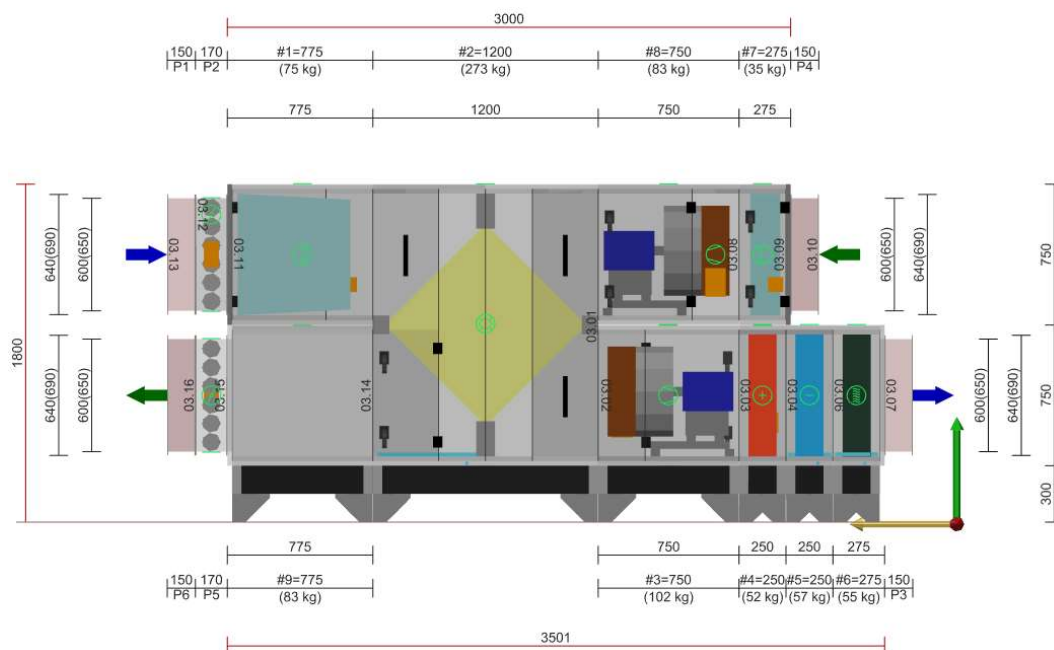


Obr.č.85 Schéma vzduchotechnické jednotky č. 2

ZAŘIZENÍ Č.3

VZT jednotka č. 3 obsluhuje všechny ostatní místnosti v 2.NP. Návrh jednotky byl proveden v program AeroCAD od společnosti REMAK a.s. Jedná se o modelovou řadu Aeromaster XP 06. Vzduchotechnická jednotka je umístěna ve strojvně nad 2.NP.

Jednotka je navržena na nucené větrání. Jednotka obsahuje filtr M5 na přívodu a filtr G3 na odvodu, deskový přímý výměník pro zpětné získávání tepla, ohřívač, chladič a ventilátor na přívodu i odvodu. Do jednotky je přivedená otopná voda 70/55 °C a chladicí voda 7/13 °C.



Obr.č.86 Schéma vzduchotechnické jednotky č. 3

3.7 Lokální jednotky multi-split

O chlazení a vytápění zasedacích místností M116, M117 a M118 a místnosti pro zázemí účinkujících M111 se postará systém multi-split.

3.7.1 Vnitřní jednotky

MÍSTNOST M116 A M118

VZT jednotka místnosti pouze větrá a nepobírá žádnou tepelnou zátěž. Chladicí výkon sekundárního vzduchu pro lokální jednotku pak je:

$$Q_{FCU} = Q_L = 1786 \text{ W}$$

Oběhový průtok vzduchu lokální jednotky:

$$V_{FCU} = \frac{Q_{FCU}}{\rho \cdot c \cdot (t_i - t_{sc})} = \frac{1843}{1,175 \cdot 1010 \cdot (26 - 20)} = 0,259 \text{ m}^3/\text{s} = 15,5 \text{ m}^3/\text{min}$$

Navrženo 1x LG LIBERO R MS18AQ NCO - $V_{FCU,1} = 14,2 \text{ m}^3/\text{min} = 0,236 \text{ m}^3/\text{s}$

Skutečný pracovní rozdíl teplot a teplota vyfukovaného vzduchu:

$$\Delta t_{p,skut} = \frac{Q_{FCU}}{c \cdot \rho \cdot V_{FCU}} = \frac{1786}{1010 \cdot 1,175 \cdot 0,236} = 6,4 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad t_p = 26 - 6,4 = \mathbf{19,6 \text{ }^{\circ}\text{C}}$$

MÍSTNOST M117

VZT jednotka místnosti pouze větrá a nepobírá žádnou tepelnou zátěž. Chladicí výkon sekundárního vzduchu pro lokální jednotku pak je:

$$Q_{FCU} = Q_L = 1877 \text{ W}$$

Oběhový průtok vzduchu lokální jednotky:

$$V_{FCU} = \frac{Q_{FCU}}{\rho \cdot c \cdot (t_i - t_{sc})} = \frac{1877}{1,175 \cdot 1010 \cdot (26 - 20)} = 0,264 \text{ m}^3/\text{s} = 15,8 \text{ m}^3/\text{min}$$

Navrženo 1x LG LIBERO R MS18AQ NCO - $V_{FCU,1} = 14,2 \text{ m}^3/\text{min} = 0,236 \text{ m}^3/\text{s}$

Skutečný pracovní rozdíl teplot a teplota vyfukovaného vzduchu:

$$\Delta t_{p,skut} = \frac{Q_{FCU}}{c \cdot \rho \cdot V_{FCU}} = \frac{1877}{1010 \cdot 1,175 \cdot 0,236} = 6,7 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad t_p = 26 - 6,7 = \mathbf{19,3 \text{ }^{\circ}\text{C}}$$

MÍSTNOST M111

VZT jednotka místnosti pouze větrá a nepobírá žádnou tepelnou zátěž. Chladicí výkon sekundárního vzduchu pro lokální jednotku pak je:

$$Q_{FCU} = Q_L = 4119 \text{ W}$$

Oběhový průtok vzduchu lokální jednotky:

$$V_{FCU} = \frac{Q_{FCU}}{\rho \cdot c \cdot (t_i - t_{sc})} = \frac{4119}{1,175 \cdot 1010 \cdot (26 - 20)} = 0,578 \text{ m}^3/\text{s} = 34,7 \text{ m}^3/\text{min}$$

2x LG Multisplit LIBERO R MS24AQ NCO - $V_{FCU,1} = 17 \text{ m}^3/\text{min} = 0,283 \text{ m}^3/\text{s}$

Skutečný pracovní rozdíl teplot a teplota vyfukovaného vzduchu:

$$\Delta t_{p,skut} = \frac{Q_{FCU}}{c \cdot \rho \cdot V_{FCU}} = \frac{4119}{1010 \cdot 1,175 \cdot 0,283} = 6,1 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad t_p = 26 - 6,1 = \mathbf{19,9 \text{ }^{\circ}\text{C}}$$

NÁSTĚNNÉ JEDNOTKY



Označení LIBERO-R		MS07AQ NBO	MS09AQ NBO	MS12AQ NBO	MS18AQ NCO	MS24AQ NCO
Chladicí výkon	(kW)	2,1	2,6	3,5	5,3	6,7
Topný výkon	(kW)	2,3	2,9	3,9	5,8	7,5
El. příkon	(W)	20	20	20	40	60
Provozní proud chlazení	(A)	0,1	0,15	0,15	0,28	0,28
Akustický tlak (1 m)	vys / stř / níž (dBA)	31 / 28 / 25	33 / 30 / 27	39 / 36 / 31	37 / 33 / 28	42 / 39 / 36
Akustický výkon	max (dBA)	58	58	58	58	64
Průtok vzduchu	(m³/min)	5,6 / 5 / 4,6	7 / 6,5 / 6	9,5 / 9 / 8,5	16,2 / 14,2 / 12,3	20,4 / 17 / 13,2
Rozměry	Š*V*H (mm)	895*289*210	895*289*210	895*289*210	1030*325*250	1030*325*250
Čistá hmotnost	(kg)	9,5	9,5	9,5	13,8	13,8
Odvlhčení	(l/h)	0,9	1,1	1,2	1,9	2,6
Připojovací dimenze	kapalina / plyn (mm)	6,35 / 9,52	6,35 / 9,52	6,35 / 9,52	6,35 / 12,7	6,35 / 12,7
Odvod kondenzátu	vnější / vnitřní (mm)			21,5 / 16		

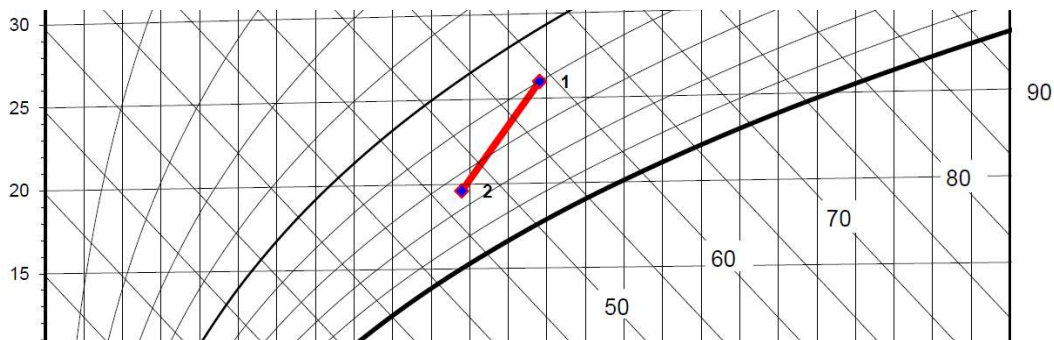
Obr.č.87 Podklady výrobce nástěnných jednotek LG

3.1.1 Venkovní jednotky

Venkovní jednotka musí vyrobit výkon pro uchazení vzduchu v místnosti a pokrýt zkondenzovaný výkon na výměníku:

PRO MÍSTNOST M116 A M118

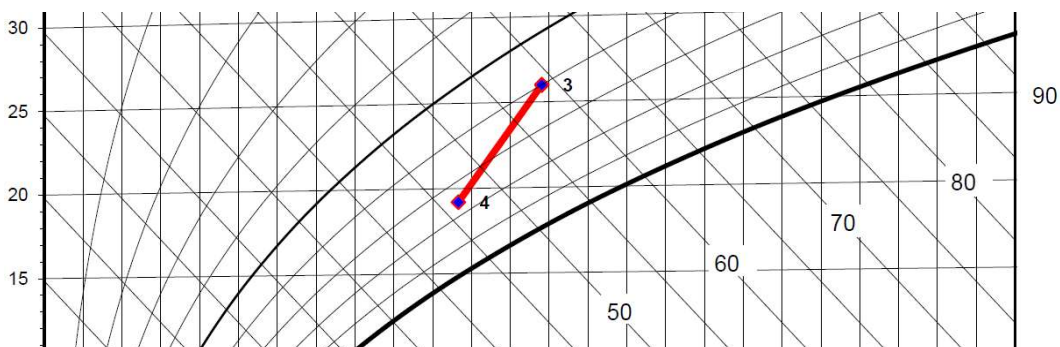
$$Q = m \cdot c \cdot (h_1 - h_2) = V \cdot \rho \cdot c \cdot (h_1 - h_2) = 0,236 \cdot 1,17 \cdot 1010 \cdot (58,9 - 47,2) = 3262,91 \text{ W}$$



Obr.č.88 Průběh úpravy vzduchu ve vnitřních jednotkách – místnost M116 a M118

PRO MÍSTNOST M117

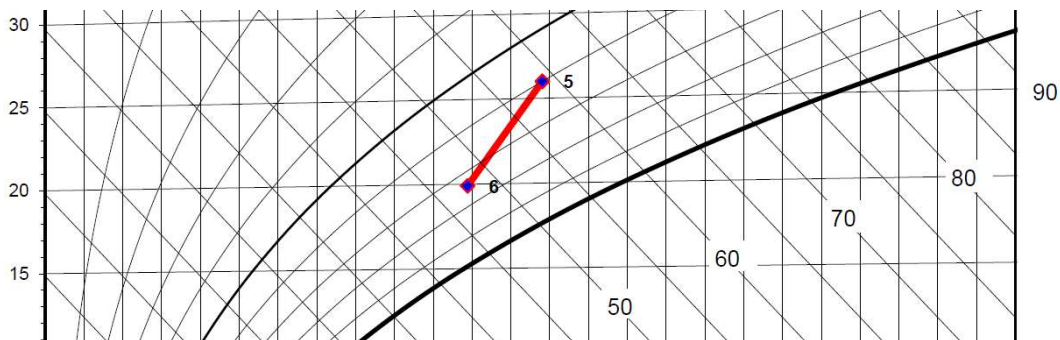
$$Q = m \cdot c \cdot (h_3 - h_4) = V \cdot \rho \cdot c \cdot (h_3 - h_4) = 0,236 \cdot 1,17 \cdot 1010 \cdot (58,9 - 46,4) = 3486,02 \text{ W}$$



Obr.č.89 Průběh úpravy vzduchu ve vnitřních jednotkách – místnost M117

PRO MÍSTNOST M111

$$Q = m \cdot c \cdot (h_5 - h_6) = V \cdot \rho \cdot c \cdot (h_5 - h_6) = 0,283 \cdot 1,17 \cdot 1010 \cdot (58,9 - 47,7) = 3745,52 \text{ W}$$



Obr.č.90 Průběh úpravy vzduchu ve vnitřních jednotkách – místnost M111

Tab.č.21 hodnoty úprav vzduchu ve vnitřních jednotkách, viz obr. 37, 38, 39

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		Interní	M116	Interní	M117	Interní	M111				
Teplota	t °C	26,0	19,6	26,0	19,2	26,0	19,9				
rel.vlhkost	φ %	60%	75%	60%	76%	60%	74%				
měr. vlhkost	x g/kg s.v.	12,8	10,8	12,8	10,7	12,8	10,9				
entalpie	h kJ/kg s.v.	58,9	47,2	58,9	46,4	58,9	47,7				
hustota	ρ kg/m ³	1,16	1,18	1,16	1,18	1,16	1,18				
t.vlhkého tepl.	tv °C	19,4	15,5	18,5	18,5	3,9	14,9				
Skut. průtok	Vs m ³ /h	0	0	0	0	0	0				
Norm. průtok	Vn m ³ /h	0	0	0	0	0	0				
Předaný výkon	P kW		0,0		0,0		0,0				
Odpařené vody	qw kg/h		0,0		0,0		0,0				

Celkový výkon venkovní jednotky:

$$Q_1 = \sum Q_i = 2 \cdot 3262,91 + 3486,02 = 10011,84 \text{ W} \approx 10,1 \text{ kW}$$

$$Q_2 = 2 \cdot 3745,52 = 7491,04 \approx 7,5 \text{ kW}$$

Pro místnosti M116, M117 a M118 navržená venkovní jednotka LG MU5M40 UO2 -
 $Q_c = 11,2 \text{ kW}$

Pro místnost M111 navržená venkovní jednotka LG MU5M30 U42 - $Q_c = 8,8 \text{ kW}$



Venkovní jednotka
Multi F



Označení	Venkovní jednotka	MU4M25 U42	MU4M27 U42	MU5M30 U42	MU5M40 UO2
Chladič výkon	min/nom/max (kW)*	1,3 / 7 / 8,5	1,3 / 7,9 / 9,5	1,3 / 8,8 / 10,6	0,9 / 11,2 / 13,5
Topný výkon	min/nom/max (kW)*	1,5 / 8,4 / 9,4	1,5 / 9,1 / 10,6	1,5 / 10,1 / 12,1	1 / 12,5 / 15
Max. počet vnitř. jednotek		4	4	5	5
EL příkon - chlazení	min/nom/max (kW)*	0,4 / 1,7 / 2,6	0,4 / 2 / 3	0,4 / 2,2 / 3,4	0,8 / 2,7 / 4,2
EL příkon - topení	min/nom/max (kW)*	0,5 / 1,8 / 3	0,5 / 2 / 3,6	0,5 / 2,2 / 3,7	0,8 / 2,8 / 4,5
Provozní proud chlazení	min/nom/max (A)	2 / 12 / 11,1	2 / 8,5 / 13,2	2 / 9,9 / 16,2	3,5 / 12,1 / 18,4
Provozní proud topení	min/nom/max (A)	2,2 / 8,1 / 12,8	2,2 / 9,1 / 15,8	2,2 / 9,8 / 16,5	3,6 / 12,5 / 19,7
Napájení	(fáze, V, Hz)	1f-C-20A			
Doporučené jističi	(A)	1f-C-16A	1f-C-20A	1f-C-20A	1f-C-25A
Napájecí kabel	počet žil x mm ²	CYKY 3C x 2,5	CYKY 3C x 2,5	CYKY 3C x 2,5	CYKY 3C x 4,0
Komunikační kabel	počet žil x mm ²	5*1,5			
EER	chlazení (nom.)	4,21	3,99	4	4,1
COP	topení (nom.)	4,69	4,52	4,6	4,45
Energetická třída	chlazení	A++	A++	A++	A++
	topení	A	A	A	A
Roční spotřeba energie	chlazení (kWh)	402	453	505	643
	topení (kWh)	3095	3242	3353	4236
SEER koeficient roční energet. účinnosti - chlazení		6,1	6,1	6,1	6,1
SCOP koeficient roční energet. účinnosti - topení		3,8	3,8	3,8	3,9
Akustický tlak (l m)**	chl / top (dBA)	51 / 53	51 / 53	51 / 53	53 / 55
	noční režim (dBA)	46	46	46	-
Akustický výkon***	(dBA)	62	63	64	67
Průtok vzduchu	(m ³ /min)	60	60	60	90
Náplň chladiva	R410a (g)	3200	3200	3200	3800
Předplněno na vzdálenost	(m)			37,5	
Doplnění chladiva	(g/m)	20	20	20	20
Max. délka jednotkové větve	(m)		25		
Max. součtová délka potrubí	(m)	70	70	75	85
Prevýšení mezi venkovní a vnitřními jednotkami	(m)			15	
Prevýšení mezi vnitřními jednotkami	(m)			7,5	
Rozměry	S*V*H (mm)	950*834*330	950*834*330	950*834*330	950*1170*330
Čistá hmotnost	(kg)	64	64	64	84
Phi-pojovací dimenze	kapalina / plyn (mm)	6,35 / 9,52 * 4	6,35 / 9,52 * 4	6,35 / 9,52 * 5	6,35 / 9,52 * 5
Garantovaný chod	chlazení (°C)	-10 - 48			
	topení (°C)	-18 - 18			

Obr.č.91 Podklady výrobce venkovních jednotek

3.8 Útlum hluku

Výchozí veličinou pro posouzení hluku je hladina akustického výkonu ventilátoru ve frekvenčních pásmech od 125 do 8000 Hz. Tyto údaje vyplývají z návrhu VZT jednotky. V interiéru je posuzovaný vždy nejbližší distribuční element a v exteriéru nejbližší sousední budova. Pro návrh tlumiče hluku byl použit webový software společnosti Mart s.r.o.

ZAŘÍZENÍ Č.1

Tab.č.22 Útlum hluku v přívodním potrubí zařízení č. 1

ZAŘÍZENÍ Č. 1 - PŘÍVODNÍ VĚTEV									
p	L _{WA} [dB(A)]/f [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Součet
1	Přívod - výtlač vent. (výstup)	61,8	79,4	80,6	82,1	77,1	74	74,6	86,7
Přirozený útlum [dB]:									
2	Sonoflex (1m)	18,5	14,2	13,2	13,4	14,9	18,3	11,4	
	Hluk ve vyústce L _{ws}	43,3	65,2	67,4	68,7	62,2	55,7	63,2	73,09
	Vlastní hluk vyústky L ₁								22
	Hluk vystupující z vyústky L _{sp}								73,09
	Korekce na počet vyústek								12
	Celkový hluk vyústek								85,09

Hluk v přívodní vyústce:

$$L_{ws} = 10 \cdot \log(10^{0,1 \cdot L_{125}} + 10^{0,1 \cdot L_{250}} + 10^{0,1 \cdot L_{500}} + 10^{0,1 \cdot L_{1000}} + 10^{0,1 \cdot L_{2000}} + 10^{0,1 \cdot L_{4000}} + 10^{0,1 \cdot L_{8000}}) = 10 \cdot \log(10^{0,1 \cdot 43,3} + 10^{0,1 \cdot 65,2} + 10^{0,1 \cdot 67,4} + 10^{0,1 \cdot 68,7} + 10^{0,1 \cdot 62,2} + 10^{0,1 \cdot 55,7} + 10^{0,1 \cdot 63,2}) = 73,09 \text{ dB}$$

Hluk z přívodní vyústky:

$$L_{sp} = 10 \times \log(10^{0,1 \cdot L_1} + 10^{0,1 \cdot L_{ws}}) = 10 \times \log(10^{0,1 \cdot 22} + 10^{0,1 \cdot 73,09}) = 72,39 \text{ dB}$$

Korekce přívodních vyústek:

$$K_p = 10 \times \log(n) = 10 \times \log(16) = 12 \text{ dB}$$

Tab.č.23 Útlum hluku v odvodním potrubí zařízení č. 1

ZAŘÍZENÍ Č. 1 - ODVODNÍ VĚTEV									
O	L _{WA} [dB(A)]/f [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Součet
1	Odvod - sání vent. (vstup)	61,4	76,3	74	71,8	72,1	71,4	76,9	82,1
Přirozený útlum [dB]:									
2	Sonoflex (2m)	17,4	14,2	12,8	13,7	14,3	17,2	10,8	
	Hluk ve vyústce L _w	44	62,1	61,2	58,1	57,8	54,2	66,1	69,32
	Vlastní hluk vyústky L ₁								22
	Hluk vystupující z vyústky L _{sp}								69,32
	Korekce na počet vyústek								12
	Celkový hluk vyústek								81,32

Hluk v odvodní vyústce:

$$L_{ws} = 10 \cdot \log(10^{0,1 \cdot L_{125}} + 10^{0,1 \cdot L_{250}} + 10^{0,1 \cdot L_{500}} + 10^{0,1 \cdot L_{1000}} + 10^{0,1 \cdot L_{2000}} + 10^{0,1 \cdot L_{4000}} + 10^{0,1 \cdot L_{8000}}) =$$

$$10 \cdot \log(10^{0,1 \cdot 44} + 10^{0,1 \cdot 62,1} + 10^{0,1 \cdot 61,2} + 10^{0,1 \cdot 58,1} + 10^{0,1 \cdot 57,8} + 10^{0,1 \cdot 54,2} + 10^{0,1 \cdot 66,1}) = 69,32 \text{ dB}$$

Hluk z odvodní vyústky:

$$L_{sp} = 10 \times \log(10^{0,1 \times L_1} + 10^{0,1 \times L_{ws}}) = 10 \times \log(10^{0,1 \times 22} + 10^{0,1 \times 69,32}) = 69,32 \text{ dB}$$

Korekce odvodních vyústek:

$$K_p = 10 \times \log(n) = 10 \times \log(16) = 12 \text{ dB}$$

Společný vliv přívodu a odvodu:

$$L_s = 10 \cdot \log(10^{0,1 \cdot 85,09} + 10^{0,1 \cdot 81,32}) = 86,61 \text{ dB}$$

Útlum hluku v místnosti:

- Plocha stěn, podlahy a stropu místnosti $S = 555,5 \text{ m}^2$
- Součinitel absorpce $\alpha = 0,4$

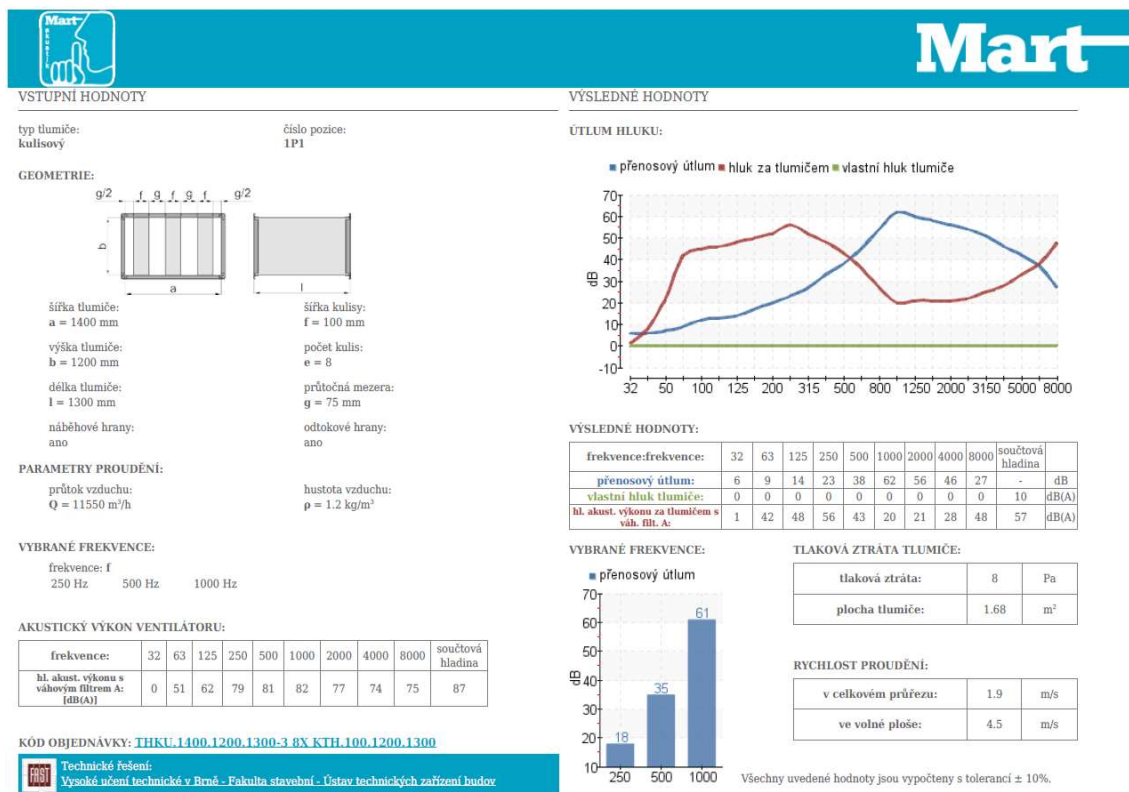
$$L_p = L_s + 10 \cdot \log\left(\frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot r^2} + \frac{4}{A}\right) = 86,61 + 10 \cdot \log\left(\frac{2}{4 \cdot \pi \cdot 2^2} + \frac{4}{555,5 \cdot 0,4}\right) = 74,23 \text{ dB}$$

Pro normovou hodnotu akustického tlaku 40+10 dB je nutné navrhnout tlumič. $74,23 > 50 \text{ dB}$

Návrh tlumiče pro zařízení č.1:

Tab.č.24 Návrh tlumiče hluku v přívodním potrubí zařízení č. 1

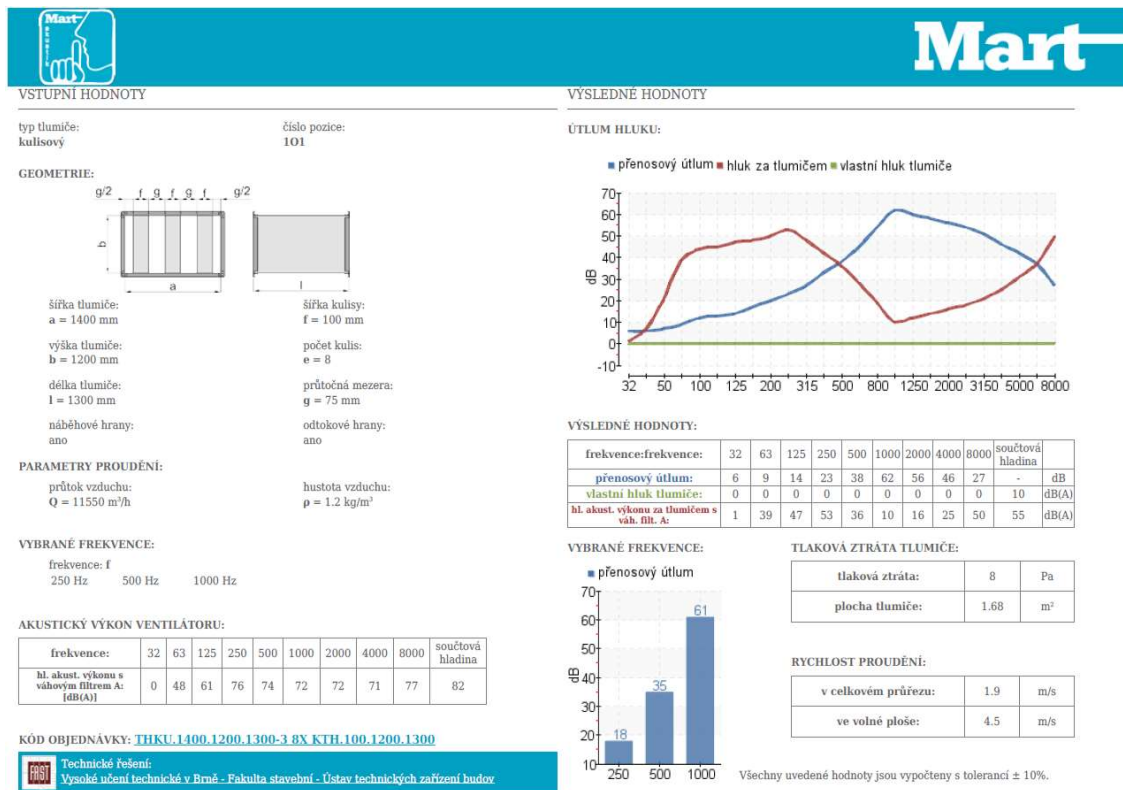
PŘÍVODNÍ VĚTEV									
p	L _{WA} [dB(A)/f [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Součet
1	Přívod - výtlač vent. (výstup)	61,8	79,4	80,6	82,1	77,1	74	74,6	86,7
Přirozený útlum [dB]:									
2	Tlumič 1400x1200x1300 8xKTH	14	23	38	62	56	46	27	
	Hluk za tlumičem	48	56	43	20	21	28	48	57
3	Sonoflex (1m)	18,5	14,2	13,2	13,4	14,9	18,3	11,4	
	Hluk ve vyústce L _{ws} s tlumičem	29,5	41,8	29,8	6,6	6,1	9,7	36,6	43,34
	Vlastní hluk vyústky L ₁								22
	Hluk vystupující z vyústky L _{sp}								43,37
	Korekce na počet vyústek								12
	Celkový hluk vyústek								55,37



Obr.č.92 Návrh tlumiče pro přívod zařízení č. 1

Tab.č.25 Návrh tlumiče hluku v odvodním potrubí zařízení č. 1

ODVODNÍ VĚTEV									
O	L _{WA} [dB(A)]/f [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Součet
1	Odvod - sání vent. (vstup)	61,4	76,3	74	71,8	72,1	71,4	76,9	82,1
Přirozený útlum [dB]:									
2	Tlumič 1200x1000x1300 8xKTH	14	23	38	62	56	46	27	
	Hluk za tlumičem	47	53	36	10	16	25	50	55
3	Sonoflex (2m)	17,4	14,2	12,8	13,7	14,3	17,2	10,8	
	Hluk ve výústce L _{WS} s tlumičem	29,6	38,8	23,2	0	1,7	7,8	39,2	42,31
	Vlastní hluk výústky L ₁								22
	Hluk vystupující z výústky L _{Sp}								42,35
	Korekce na počet výústek								12
	Celkový hluk výústek								54,35



Obr.č.93 Návrh tlumiče pro odvod zařízení č. 1

Společný vliv přívodu a odvodu:

$$L_s = 10 \cdot \log(10^{0,1 \cdot 55,37} + 10^{0,1 \cdot 54,35}) = 57,90 \text{ dB}$$

Útlum hluku v místnosti:

- Plocha stěn, podlahy a stropu místnosti $S = 555,5 \text{ m}^2$
- Součinitel absorpce $\alpha = 0,4$

$$L_p = L_s + 10 \cdot \log\left(\frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot r^2} + \frac{4}{555,5 \cdot 0,4}\right) = 57,90 + 10 \cdot \log\left(\frac{2}{4 \cdot \pi \cdot 2^2} + \frac{4}{555,5 \cdot 0,4}\right) = 45,52 \text{ dB}$$

Přívod i odvod navržen tlumič THKU.1400.1200.1300-3 8x KTH.100.1200.1300 společnosti Mart s.r.o. **45,52 < 50 dB**

ZAŘÍZENÍ Č.2

Tab.č.26 Útlum hluku v přívodním potrubí zařízení č. 2

ZAŘÍZENÍ Č. 2 - PŘÍVODNÍ VĚTEV									
P	L _{WA} [dB(A)/f [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Součet
1	Přívod - výtlač vent. (výstup)	50	70,2	71,3	79,3	72,9	67,3	60,5	81,3
Přirozený útlum [dB]:									
2	Sonoflex (2m)	20,2	17,9	16,2	15,9	16,8	22,8	12,3	
	Hluk ve výústce L _{WS}	29,8	52,3	55,1	63,4	56,1	44,5	48,2	65,03
	Vlastní hluk výústky L ₁								36
	Hluk vystupující z výústky L _{sp}								65,03
	Korekce na počet výústek								4,77
	Celkový hluk výústek								69,81

Tab.č.27 Útlum hluku v odvodním potrubí zařízení č. 2

ZAŘÍZENÍ Č. 2 - ODVODNÍ VĚTEV									
O	L _{WA} [dB(A)/f [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Součet
1	Odvod - sání vent. (vstup)	48,2	65,2	68,6	68,5	67,6	65,8	58,5	74,5
Přirozený útlum [dB]:									
2	Sonoflex (2m)	20,2	17,9	16,2	15,9	16,8	22,8	12,3	
	Hluk ve výústce L _w	28	47,3	52,4	52,6	50,8	43	46,2	57,72
	Vlastní hluk výústky L ₁								43
	Hluk vystupující z výústky L _{sp}								57,87
	Korekce na počet výústek								3,01
	Celkový hluk výústek								60,88

Společný vliv přívodu a odvodu:

$$L_s = 10 \cdot \log(10^{0,1 \cdot 69,81} + 10^{0,1 \cdot 60,88}) = 70,32 \text{ dB}$$

Útlum hluku v místnosti:

- Plocha stěn, podlahy a stropu místnosti $S = 187,2 \text{ m}^2$
- Součinitel absorpce $\alpha = 0,3$

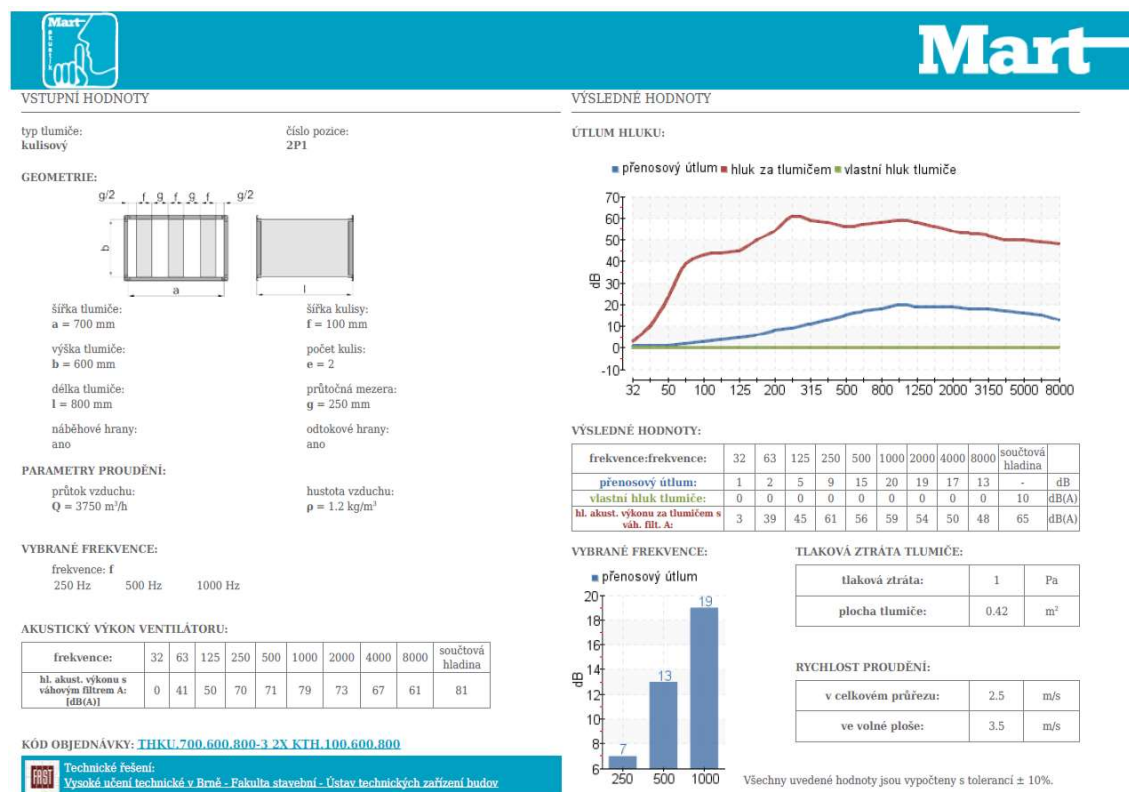
$$L_p = L_s + 10 \cdot \log\left(\frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot r^2} + \frac{4}{A}\right) = 70,32 + 10 \cdot \log\left(\frac{2}{4 \cdot \pi \cdot 2^2} + \frac{4}{187,2 \cdot 0,3}\right) = 62,92 \text{ dB}$$

Pro normovou hodnotu akustického tlaku 40+15 dB je nutné navrhnout tlumič. 62,92 > 55 dB

Návrh tlumiče pro zařízení č.2:

Tab.č.28 Návrh tlumiče hluku v přívodním potrubí zařízení č. 2

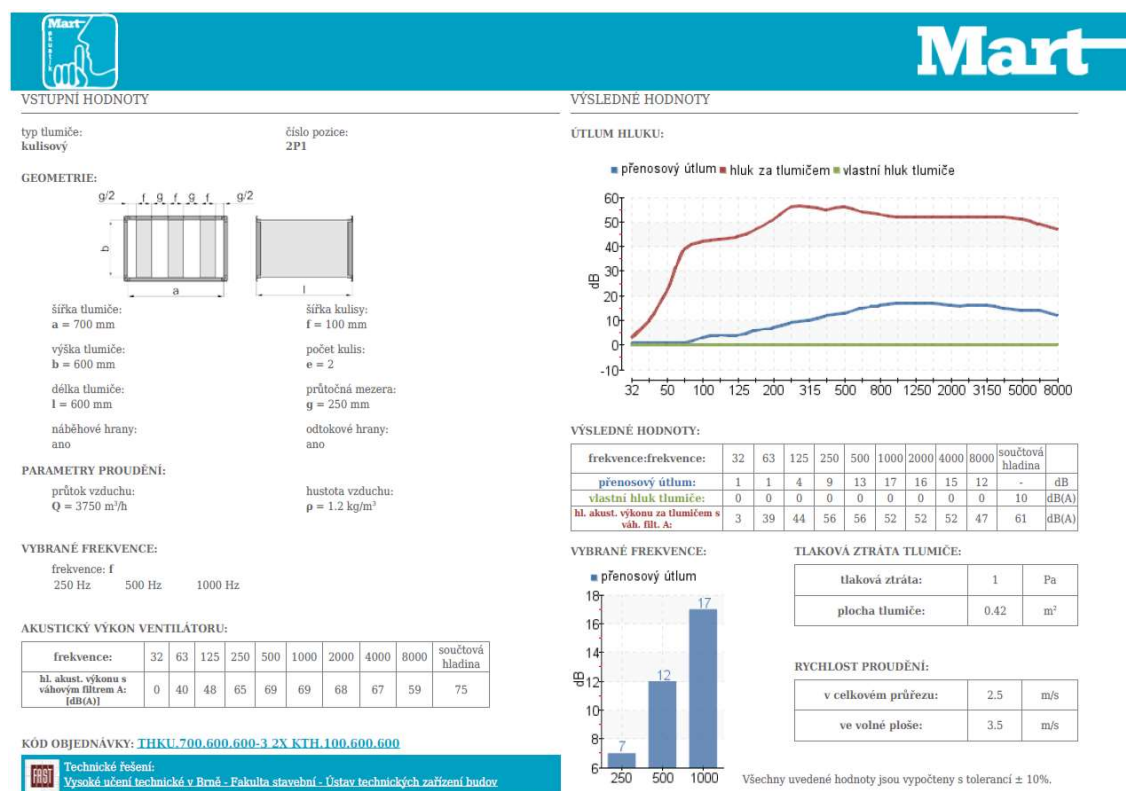
PŘÍVODNÍ VĚTEV									
p	L _{WA} [dB(A)]/f [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Součet
1	Přívod - výtlač vent. (výstup)	50	70,2	71,3	79,3	72,9	67,3	60,5	81,3
Přirozený útlum [dB]:									
2	Tlumič 1400x1200x1300 8xKTH	5	9	15	20	19	17	13	
	Hluk za tlumičem	45	61	56	59	54	50	48	65
3	Sonoflex (2m)	20,2	17,9	16,2	15,9	16,8	22,8	12,3	
	Hluk ve výústce L _{WS} s tlumičem	24,8	43,1	39,8	43,1	37,2	27,2	35,7	47,79
	Vlastní hluk výústky L ₁								36
	Hluk vystupující z výústky L _{sp}								48,07
	Korekce na počet výústek								4,77
	Celkový hluk výústek								52,84



Obr.č.94 Návrh tlumiče pro přívod zařízení č. 2

Tab.č.29 Návrh tlumiče hluku v odvodním potrubí zařízení č. 2

ODVODNÍ VĚTEV									
O	L _{WA} [dB(A)]/f [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Součet
1	Odvod - sání vent. (vstup)	48,2	65,2	68,6	68,5	67,6	65,8	58,5	74,5
Přirozený útlum [dB]:									
2	Tlumič 1200x1000x1300 8xKTH	4	9	13	17	16	15	12	
	Hluk za tlumičem	44	56	56	52	52	52	47	61
3	Sonoflex (2m)	20,2	17,9	16,2	15,9	16,8	22,8	12,3	
	Hluk ve výústce L _{WS} s tlumičem	23,8	38,1	39,8	36,1	35,2	29,2	34,7	44,38
	Vlastní hluk výústky L ₁								43
	Hluk vystupující z výústky L _{sp}								46,75
	Korekce na počet výústek								3,01
	Celkový hluk výústek								49,77



Obr.č.95 Návrh tlumiče pro odvod zařízení č. 2

Společný vliv přívodu a odvodu:

$$L_s = 10 \cdot \log(10^{0,1 \cdot 52,84} + 10^{0,1 \cdot 49,77}) = 54,58 \text{ dB}$$

Útlum hluku v místnosti:

- Plocha stěn, podlahy a stropu místnosti $S = 187,2 \text{ m}^2$
- Součinitel absorpce $\alpha = 0,3$

$$L_p = L_s + 10 \cdot \log\left(\frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot r^2} + \frac{4}{A}\right) = 54,58 + 10 \cdot \log\left(\frac{2}{4 \cdot \pi \cdot 2^2} + \frac{4}{187,2 \cdot 0,3}\right) = 47,18 \text{ dB}$$

Přívod navržen tlumič THKU.700.600.800-3 2x KTH.100.600.800 a odvod THKU.700.600.600-3 2x KTH.100.600.600 společnosti Mart s.r.o. **47,18 < 50 dB**

ZAŘÍZENÍ Č.3

Tab.č.30 Útlum hluku v přívodním potrubí zařízení č. 3

ZAŘÍZENÍ Č. 3 - PŘÍVODNÍ VĚTEV									
p	L _{WA} [dB(A)]/f [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Součet
1	Přívod - výtlač vent. (výstup)	56	70,6	78,3	83,1	79,9	72,9	67,1	86,1
Přirozený útlum [dB]:									
2	Sonoflex (2m)	18,4	15,2	10,8	9,3	11,1	16,3	10,2	
	Hluk ve výústce L _{Ws}	37,6	55,4	67,5	73,8	68,8	56,6	56,9	75,85
	Vlastní hluk vyústky L ₁								26
	Hluk vystupující z vyústky L _{sp}								75,85
	Korekce na počet vyústek								0,00
	Celkový hluk vyústek								75,85

Tab.č.31 Útlum hluku v odvodním potrubí zařízení č. 3

ZAŘÍZENÍ Č. 3 - ODVODNÍ VĚTEV									
O	L _{WA} [dB(A)]/f [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Součet
1	Odvod - sání vent. (vstup)	52,1	68,4	73,3	71,7	72	70,1	63,5	78,5
Přirozený útlum [dB]:									
2	Sonoflex (2m)	18,4	15,2	10,8	9,3	11,1	16,3	10,2	
	Hluk ve výústce L _w	33,7	53,2	62,5	62,4	60,9	53,8	53,3	67,33
	Vlastní hluk vyústky L ₁								26
	Hluk vystupující z vyústky L _{sp}								67,33
	Korekce na počet vyústek								0,00
	Celkový hluk vyústek								67,33

Společný vliv přívodu a odvodu:

$$L_s = 10 \cdot \log(10^{0,1 \cdot 75,85} + 10^{0,1 \cdot 67,33}) = 76,43 \text{ dB}$$

Útlum hluku v místnosti:

- Plocha stěn, podlahy a stropu místnosti $S = 73,12 \text{ m}^2$
- Součinitel absorpce $\alpha = 0,3$

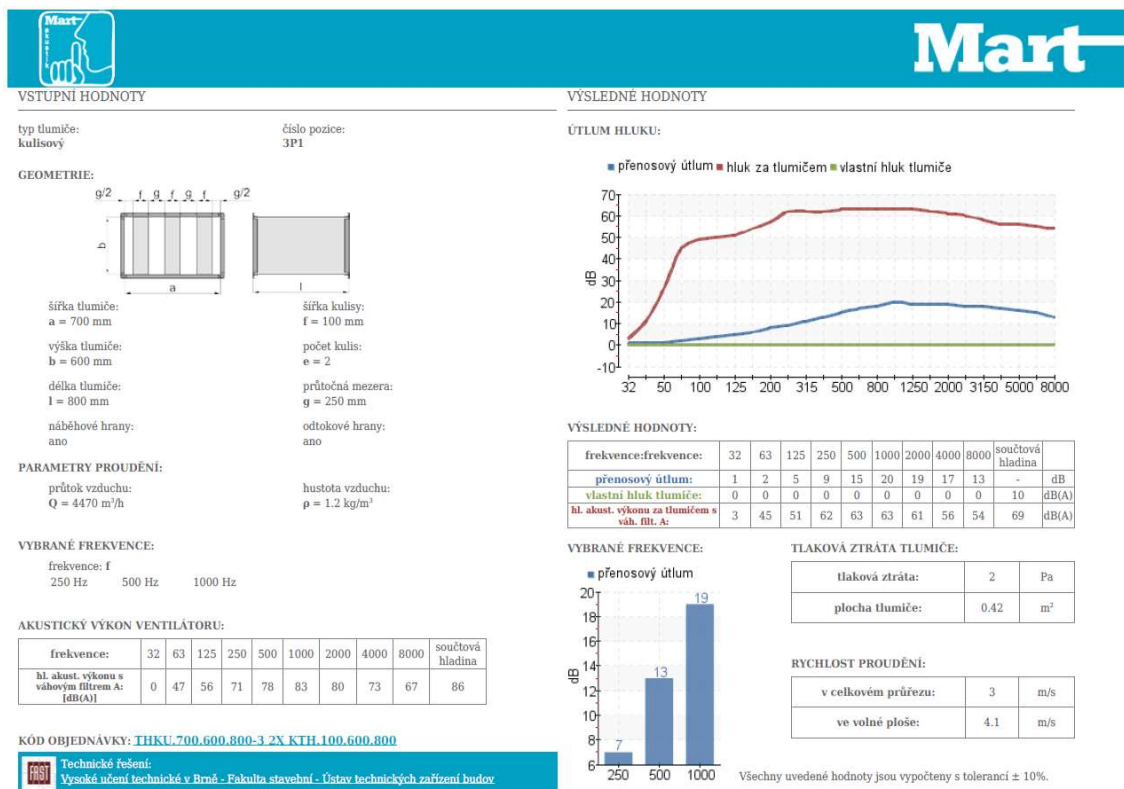
$$L_p = L_s + 10 \cdot \log\left(\frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot r^2} + \frac{4}{A}\right) = 76,43 + 10 \cdot \log\left(\frac{2}{4 \cdot \pi \cdot 2^2} + \frac{4}{73,12 \cdot 0,3}\right) = 71,09 \text{ dB}$$

Pro normovou hodnotu akustického tlaku 40+15 dB je nutné navrhnout tlumič. 71,09 > 55 dB

Návrh tlumiče pro zařízení č.3:

Tab.č.32 Návrh tlumiče hluku v přírodním potrubí zařízení č. 3

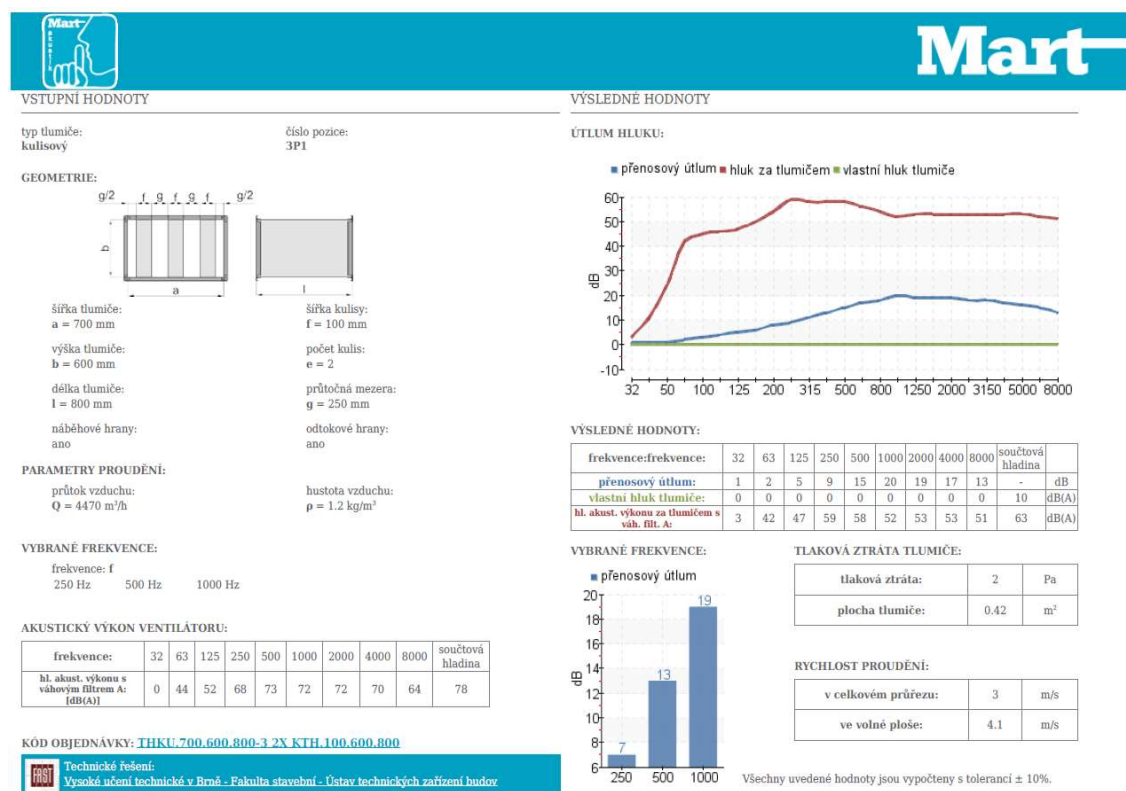
PŘÍVODNÍ VĚTEV									
p	L _{WA} [dB(A)]/f [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Součet
1	Přívod - výtlač vent. (výstup)	56	70,6	78,3	83,1	79,9	72,9	67,1	86,1
Přirozený útlum [dB]:									
2	Tlumič 1400x1200x1300 8xKTH	5	9	15	20	19	17	13	
	Hluk za tlumičem	51	62	63	63	61	56	54	69
3	Sonoflex (2m)	18,4	15,2	10,8	9,3	11,1	16,3	10,2	
	Hluk ve výústce L _{Ws} s tlumičem	32,6	46,8	52,2	53,7	49,9	39,7	43,8	57,64
	Vlastní hluk výústky L ₁								26
	Hluk vystupující z výústky L _{sp}								57,65
	Korekce na počet výústek								0,00
	Celkový hluk výústek								57,65



Obr.č.96 Návrh tlumiče pro přívod zařízení č. 3

Tab.č.33 Návrh tlumiče hluku v odvodním potrubí zařízení č. 3

ODVODNÍ VĚTEV									
O	L _{WA} [dB(A)]/f [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Součet
1	Odvod - sání vent. (vstup)	52,1	68,4	73,3	71,7	72	70,1	63,5	78,5
Přirozený útlum [dB]:									
2	Tlumič 1200x1000x1300 8xKTH	5	9	15	20	19	17	13	
	Hluk za tlumičem	47	59	58	52	53	53	51	63
3	Sonoflex (2m)	18,4	15,2	10,8	9,3	11,1	16,3	10,2	
	Hluk ve výústce L _{WS} s tlumičem	28,6	43,8	47,2	42,7	41,9	36,7	40,8	51,07
	Vlastní hluk výústky L ₁								26
	Hluk vystupující z výústky L _{sp}								51,09
	Korekce na počet výústek								0,00
	Celkový hluk výústek								51,09



Obr.č.97 Návrh tlumiče pro odvod zařízení č. 3

Společný vliv přívodu a odvodu:

$$L_s = 10 \cdot \log(10^{0,1 \cdot 57,65} + 10^{0,1 \cdot 51,09}) = 58,51 \text{ dB}$$

Útlum hluku v místnosti:

- Plocha stěn, podlahy a stropu místnosti $S = 73,12 \text{ m}^2$
- Součinitel absorpce $\alpha = 0,3$

$$L_p = L_s + 10 \cdot \log\left(\frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot r^2} + \frac{4}{A}\right) = 58,51 + 10 \cdot \log\left(\frac{2}{4 \cdot \pi \cdot 2^2} + \frac{4}{73,12 \cdot 0,3}\right) = 53,18 \text{ dB}$$

Přívod i odvod navržen tlumič THKU.700.600.800-3 2x KTH.100.600.800 společnosti Mart s.r.o. **53,18 < 50 dB**

ÚTLUM HLUKU DO EXTERIÉRU

Severní strana:

Tab.č.34 Útlum hluku do exteriéru z přívodu zařízení č. 1

ZAŘÍZENÍ Č. 1 - PŘÍVODNÍ VĚTEV DO EXTERIÉRU									
p	L _{WA} [dB(A)]/f [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Součet
1	Přívod - sání vent. (výstup)	51,4	65,8	60,5	58	53,7	49,2	53,4	67,9

Útlum hluku v místnosti:

$$L_p = L_s + 10 \cdot \log\left(\frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot r^2}\right) = 67,9 + 10 \cdot \log\left(\frac{1}{4 \cdot \pi \cdot 50^2}\right) = 30,43 \text{ dB}$$

Pro normovou hodnotu akustického tlaku 40+10 dB vyhoví. **30,43 < 50 dB.**

Jižní strana:

Tab.č.35 Útlum hluku do exteriéru z přívodu zařízení č. 2

ZAŘÍZENÍ Č. 2 - PŘÍVODNÍ VĚTEV DO EXTERIÉRU									
p	L _{WA} [dB(A)]/f [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Součet
1	Přívod - sání vent. (výstup)	40,6	57,6	57,7	55,1	51,4	46,1	38,7	62,3

Tab.č.36 Útlum hluku do exteriéru z přívodu zařízení č. 3

ZAŘÍZENÍ Č. 3 - PŘÍVODNÍ VĚTEV DO EXTERIÉRU									
p	L _{WA} [dB(A)]/f [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Součet
1	Přívod - sání vent. (výstup)	45,3	57,4	63,2	58,3	55,8	50,5	44,1	65,9

Společný vliv:

$$L_s = 10 \cdot \log(10^{0,1 \cdot 62,3} + 10^{0,1 \cdot 65,9}) = 67,47 \text{ dB}$$

Útlum hluku v místnosti:

$$L_p = L_s + 10 \cdot \log\left(\frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot r^2}\right) = 67,47 + 10 \cdot \log\left(\frac{1}{4 \cdot \pi \cdot 20^2}\right) = 30,46 \text{ dB}$$

Pro normovou hodnotu akustického tlaku 40+10 dB vyhoví. **30,46 < 50 dB.**

Horizontální strana:

Tab.č.37 Útlum hluku do exteriéru z odvodu zařízení č. 1

ZAŘÍZENÍ Č. 1 - ODVODNÍ VĚTEV DO EXTERIÉRU									
O	L _{WA} [dB(A)]/f [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Součet
1	Odvod - výtlač vent. (vstup)	58,6	72,8	72	71	64,4	61,3	62,7	77,3

Tab.č.38 Útlum hluku do exteriéru z odvodu zařízení č. 2

ZAŘÍZENÍ Č. 2 - ODVODNÍ VĚTEV DO EXTERIÉRU									
O	L _{WA} [dB(A)]/f [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Součet
1	Odvod - výtlač vent. (vstup)	45,9	61,6	63,8	68,3	63,3	57,1	49,6	71,3

Tab.č.39 Útlum hluku do exteriéru z odvodu zařízení č. 3

ZAŘÍZENÍ Č. 3 - ODVODNÍ VĚTEV DO EXTERIÉRU									
O	L _{WA} [dB(A)]/f [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Součet
1	Odvod - výtlač vent. (vstup)	50,5	64,1	67,9	71,5	67,9	61,4	54,8	74,9

Společný vliv:

$$L_s = 10 \cdot \log(10^{0,1 \cdot 77,3} + 10^{0,1 \cdot 71,3} + 10^{0,1 \cdot 74,9}) = 79,92 \text{ dB}$$

Útlum hluku v místnosti:

$$L_p = L_s + 10 \cdot \log\left(\frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot r^2}\right) = 79,92 + 10 \cdot \log\left(\frac{1}{4 \cdot \pi \cdot 20^2}\right) = 42,90 \text{ dB}$$

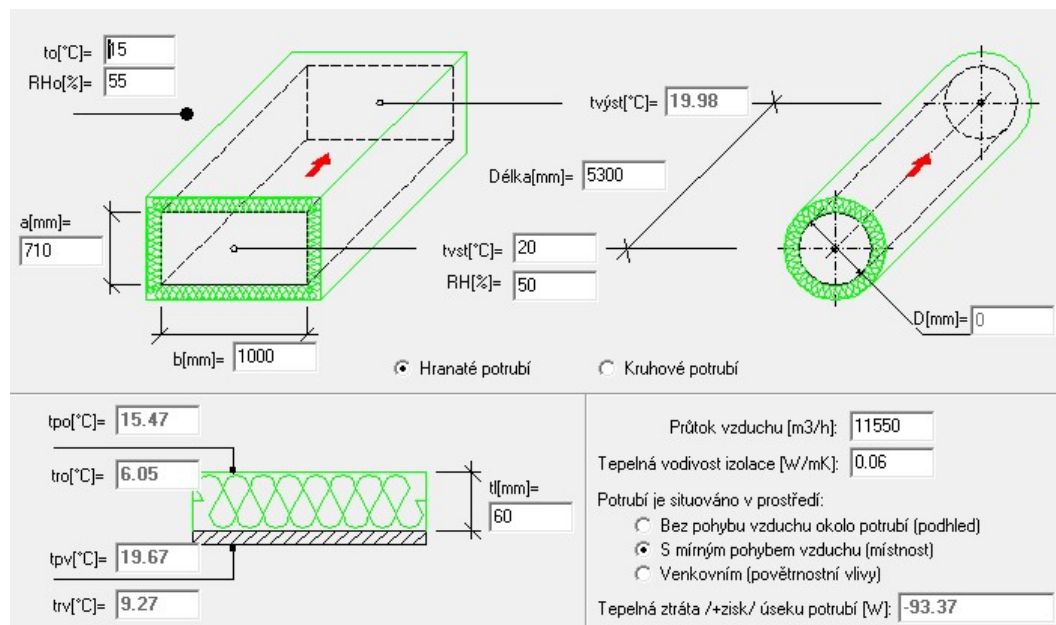
Pro normovou hodnotu akustického tlaku 40+10 dB vyhoví. **42,90 < 50 dB.**

Na straně do exteriéru hladina akustického tlaku vyhoví a nemusí být osazeny tlumiče hluku. Nejbližše uvažovaná budova pro výpočet je 20m vzdálena od nejbližšího vyústění vzduchovodu.

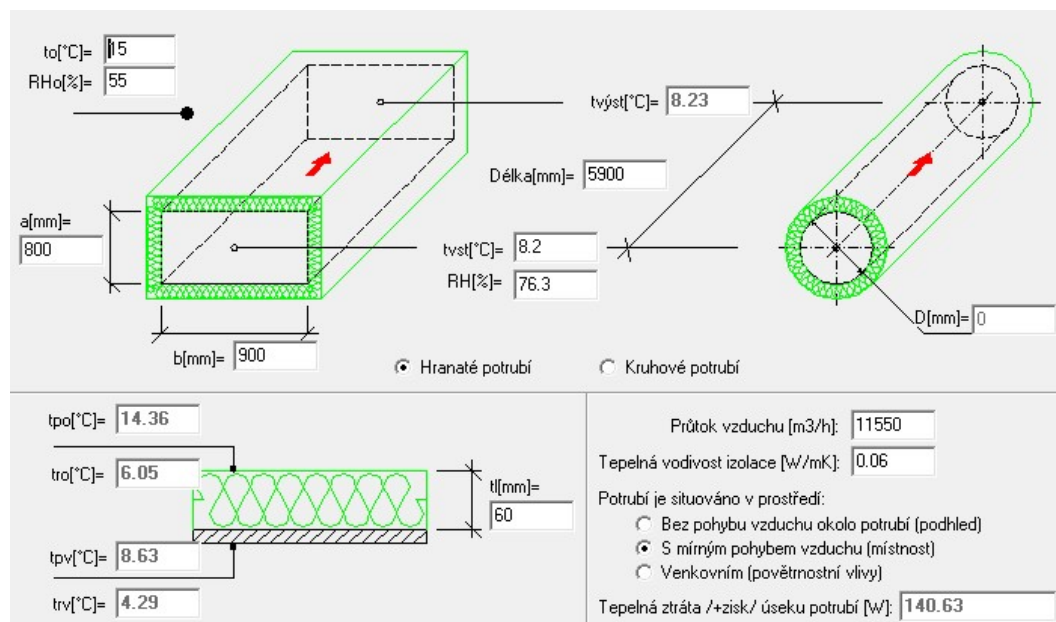
3.9 Izolace potrubí

ZAŘÍZENÍ Č.1

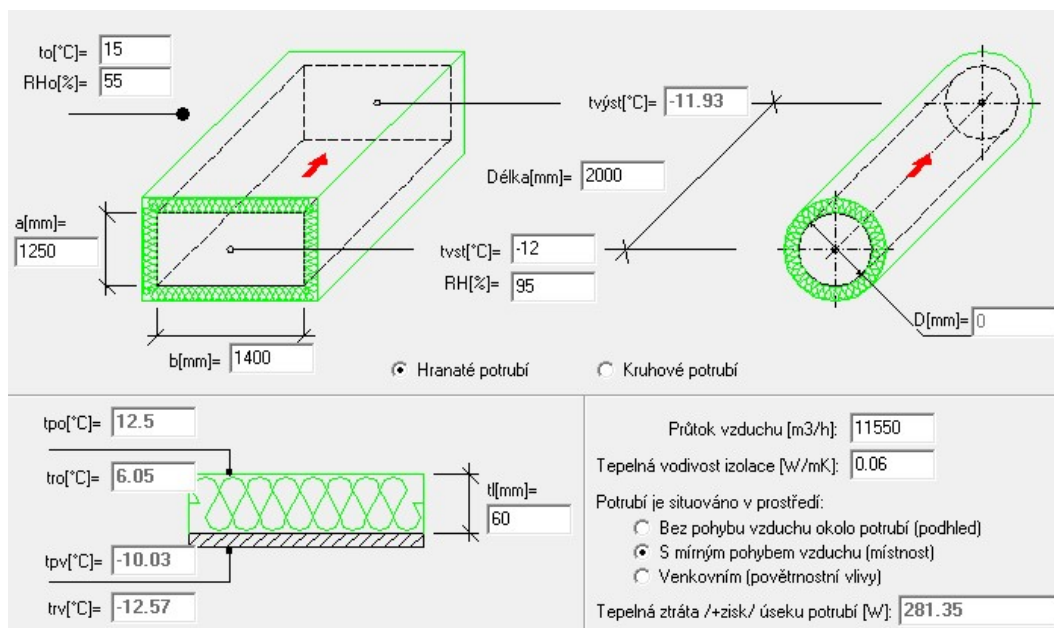
Je navržena izolace z minerální vaty obalena do hliníkové fólie pro přívodní potrubí v objektu 40 mm. Přívodní a odvodní potrubí ve strojovně jsou izolovány tloušťkou 60 mm.



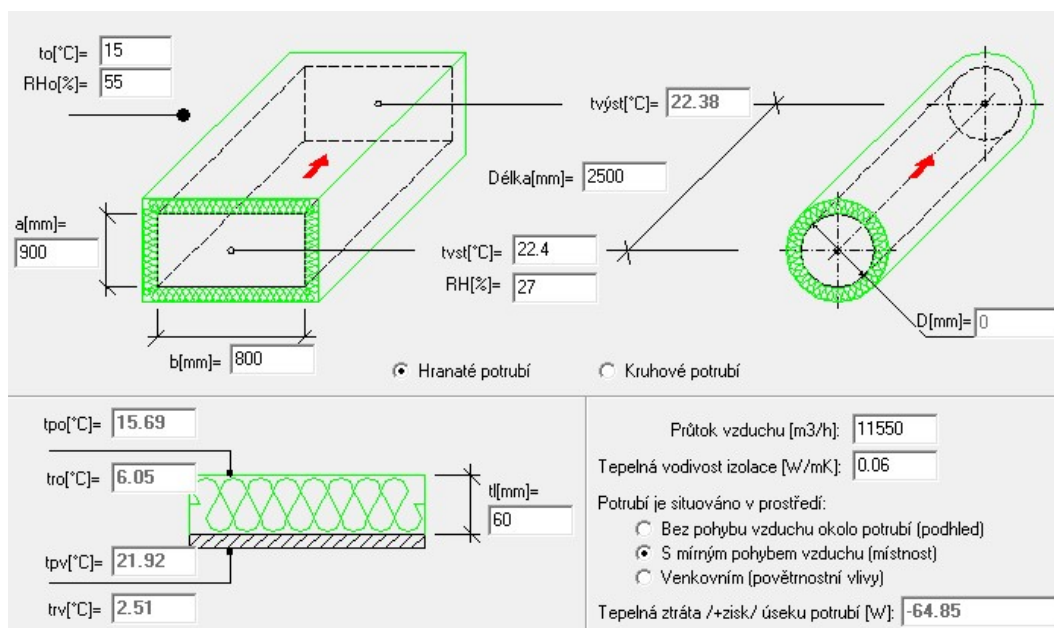
Obr.č.98 Návrh izolace odváděného potrubí před jednotkou č. 1



Obr.č.99 Návrh izolace odváděného potrubí za jednotkou č. 1



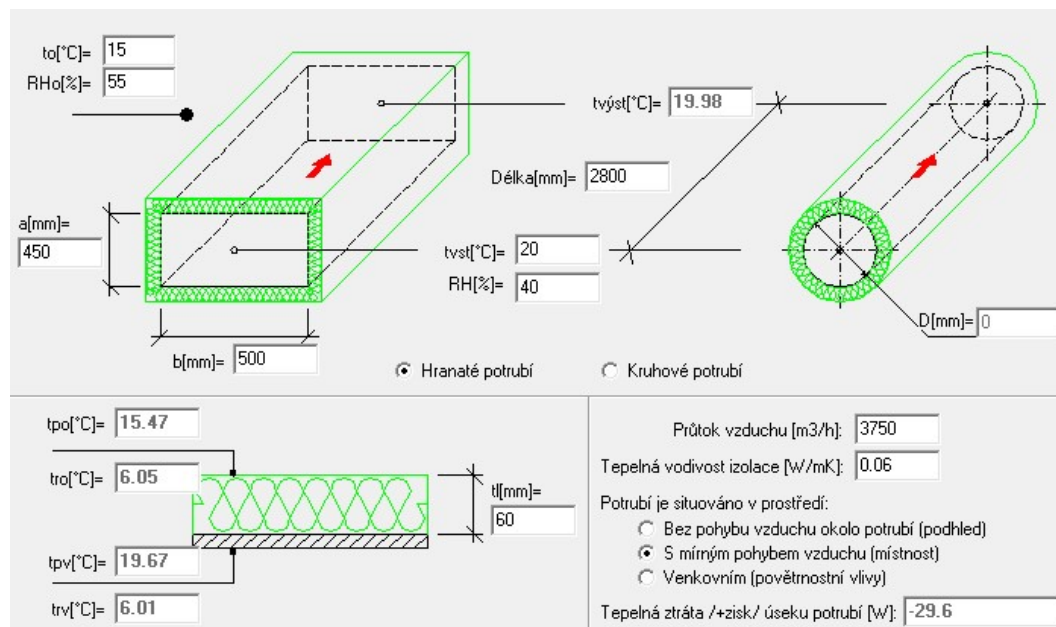
Obr.č.100 Návrh izolace přiváděného potrubí před jednotkou č. 1



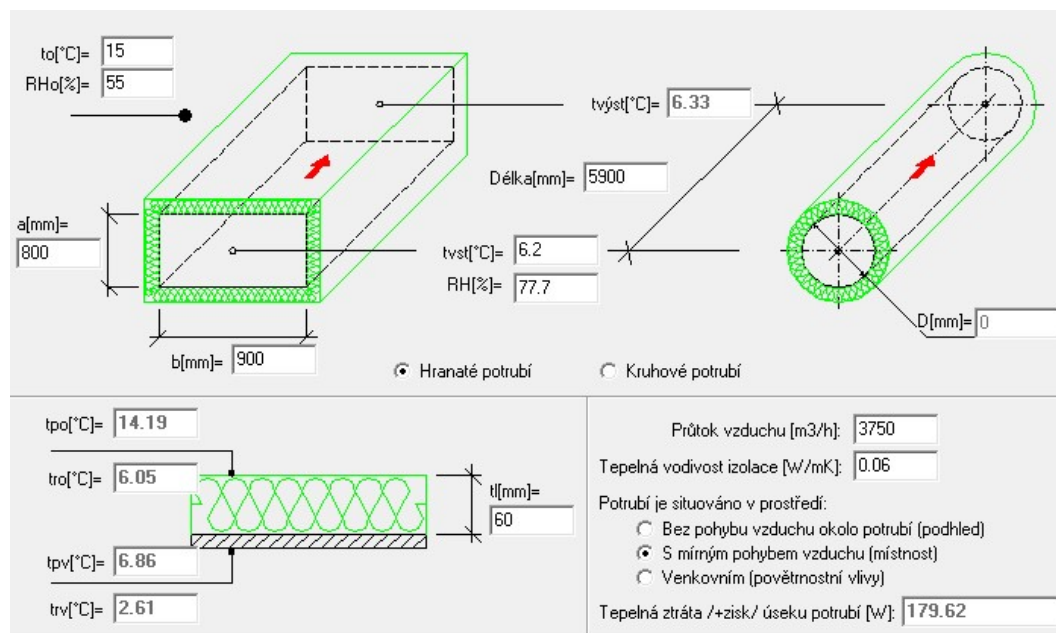
Obr.č.101 Návrh izolace přiváděného potrubí za jednotkou č. 1

ZAŘÍZENÍ Č.2

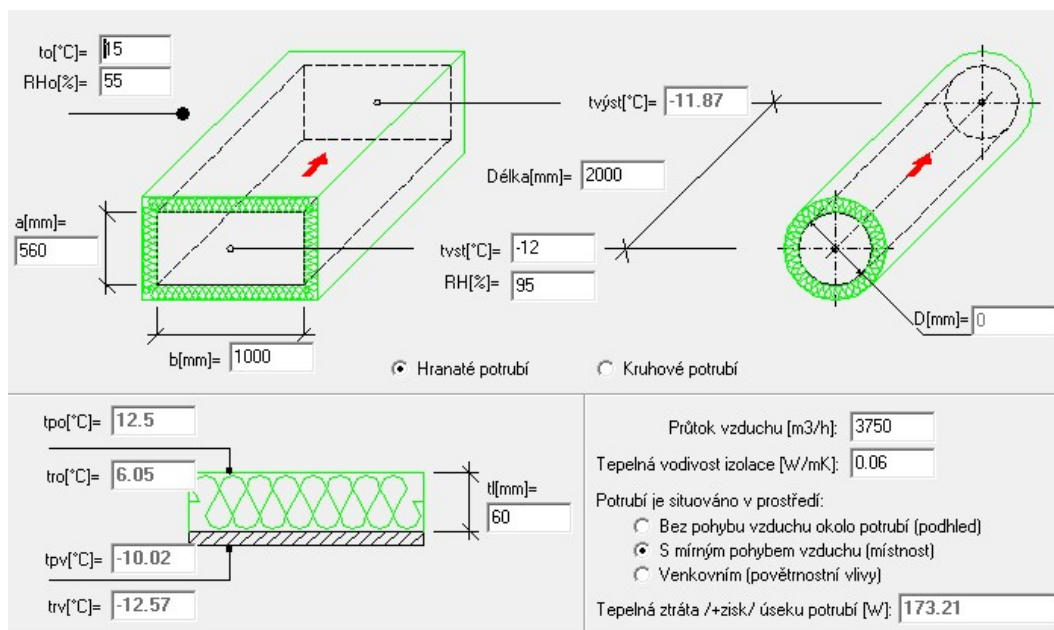
Je navržena izolace z minerální vaty obalena do hliníkové fólie pro přívodní potrubí v objektu 40 mm. Přívodní a odvodní potrubí ve strojovně jsou izolovány tloušťkou 60 mm.



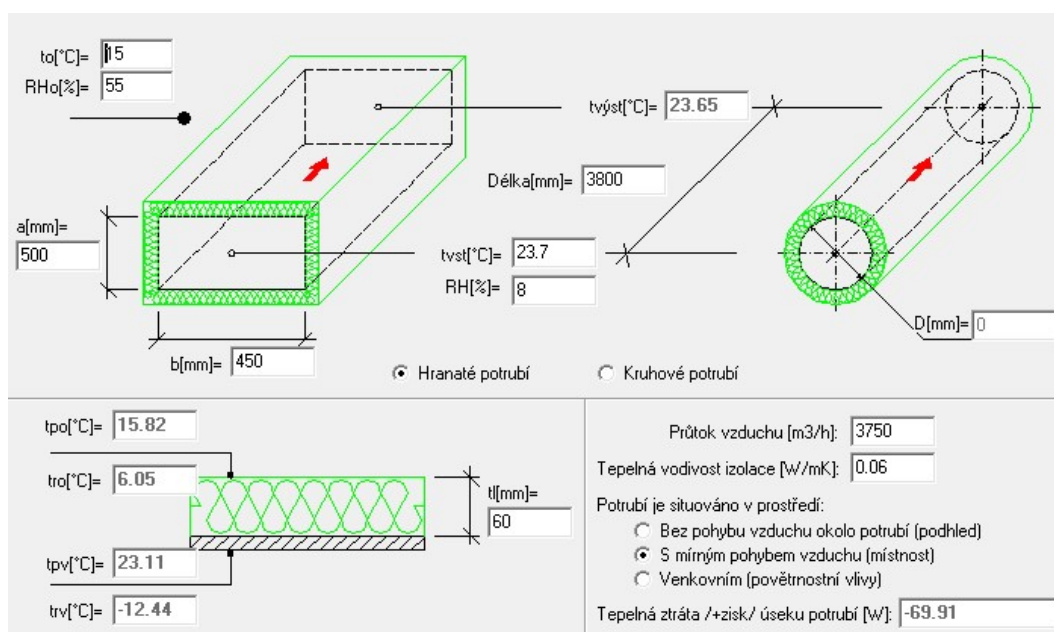
Obr.č.102 Návrh izolace odváděného potrubí před jednotkou č. 2



Obr.č.103 Návrh izolace odváděného potrubí za jednotkou č. 2



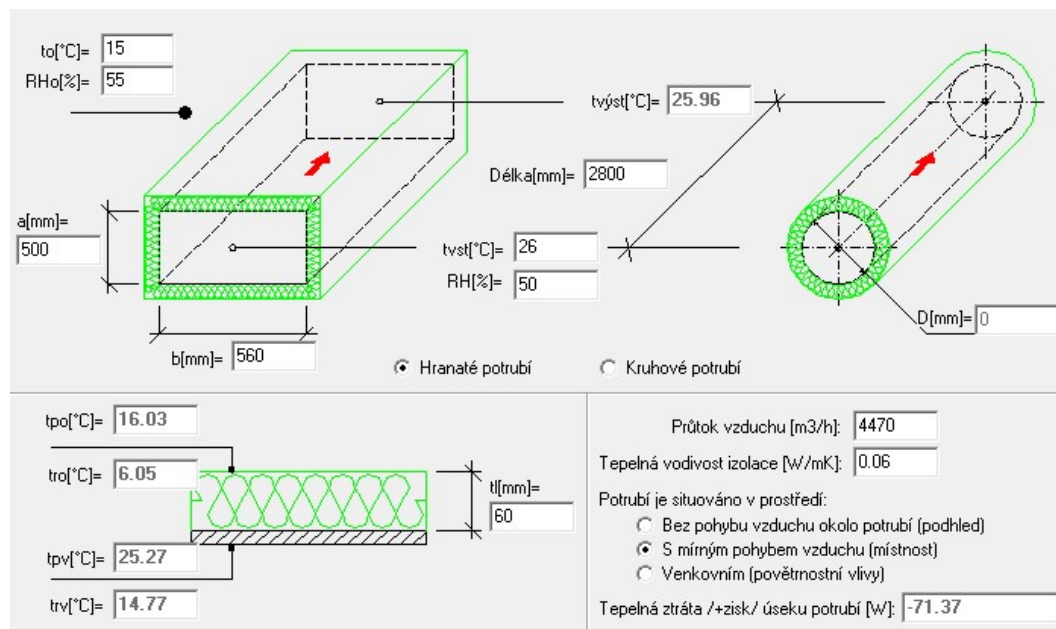
Obr.č.104 Návrh izolace přiváděného potrubí před jednotkou č. 2



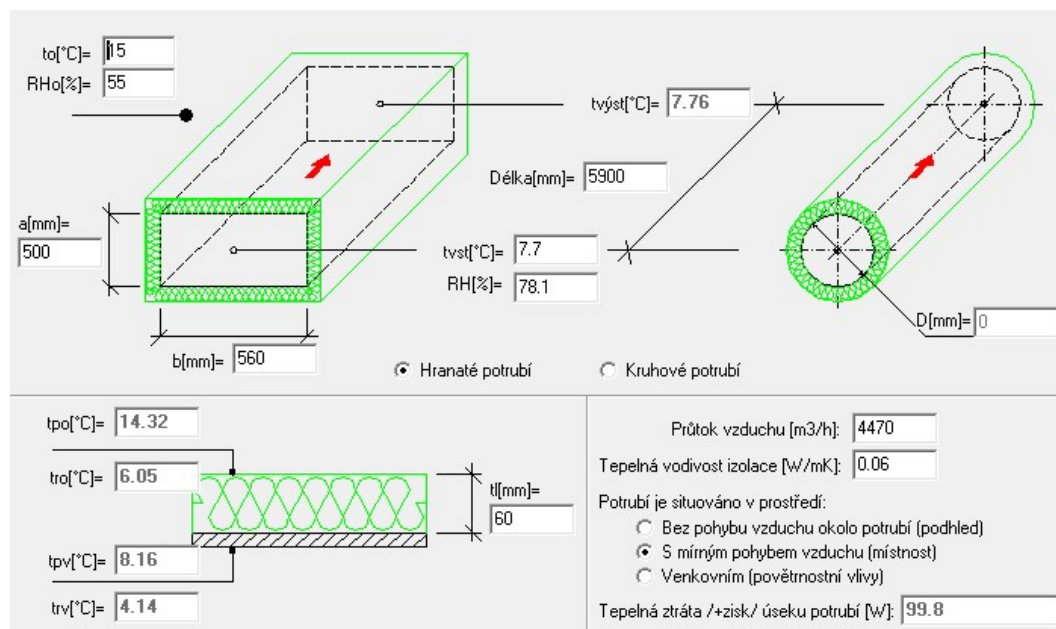
Obr.č.105 Návrh izolace přiváděného potrubí za jednotkou č. 2

ZAŘÍZENÍ Č.3

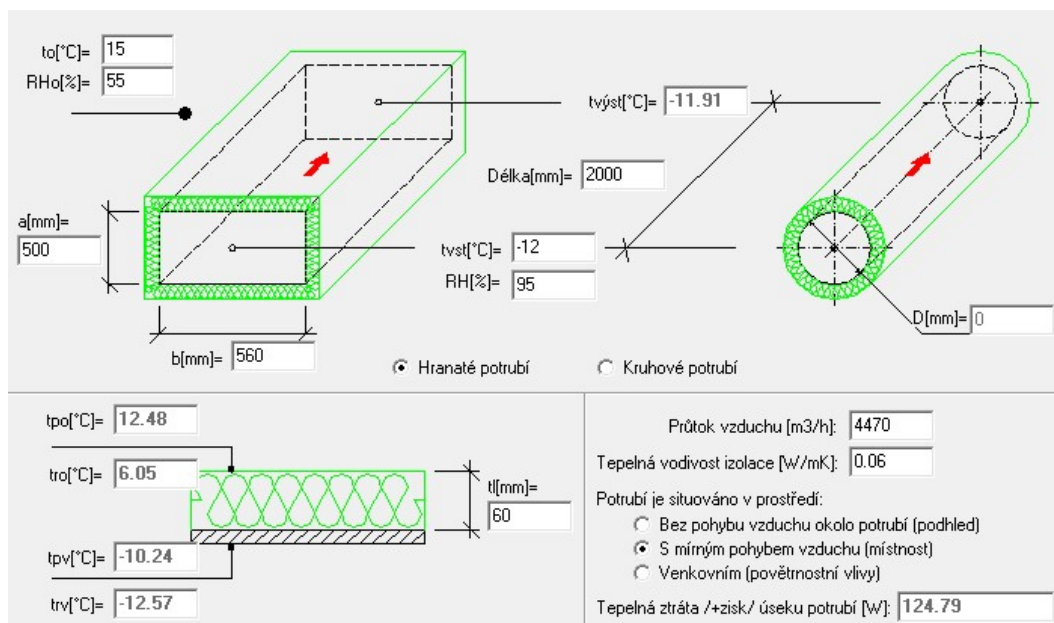
Je navržena izolace z minerální vaty obalena do hliníkové fólie pro přívodní potrubí v objektu 40 mm. Přívodní a odvodní potrubí ve strojovně jsou izolovány tloušťkou 60 mm.



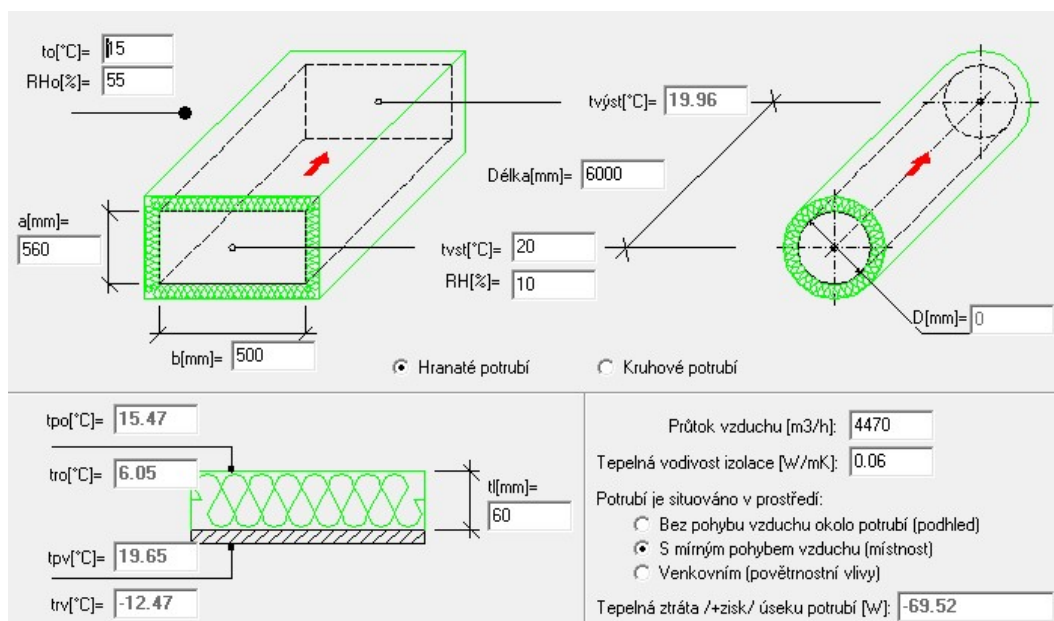
Obr.č.106 Návrh izolace odváděného potrubí před jednotkou č. 3



Obr.č.107 Návrh izolace odváděného potrubí za jednotkou č. 3



Obr.č.108 Návrh izolace přiváděného potrubí před jednotkou č. 3



Obr.č.109 Návrh izolace přiváděného potrubí za jednotkou č. 3

3.10 Technická zpráva

3.10.1 Úvod

Předmětem této projektové dokumentace je vypracování vzduchotechnického systému pro stupeň provádění objektu multikulturního divadla v Brně.

3.10.2 Podklady pro zpracování

Podkladem pro zpracování byla projektová dokumentace objektu – stavební výkresy půdorysů a řezů. Součástí podkladů jsou příslušné zákony a prováděcí vyhlášky, České technické normy a podklady výrobců vzduchotechnických zařízení:

- Nařízení vlády č. 272/2011 Sb. o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací
- Nařízení vlády č. 361/2007 Sb., o podmínkách ochrany zdraví při práci
- Vyhláška č. 6/2003 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky vnitřního prostředí
- ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov
- ČSN 73 0872 – Ochrana staveb proti šíření požáru vzduchotechnickým zařízením
- ČSN 38 3350 – Zásobování teplem, všeobecné zásady – výpočtové hodnoty klimatických veličin vybraných měst
- ČSN EN 12831 – Výpočtová metoda pro tepelné ztráty
- REMAK a.s. – podklady výrobce, návrhový program AeroCAD
- SystemAir a.s. – podklady výrobce
- ISOVER s.r.o. – podklady výrobce
- MART s.r.o. – podklady výrobce

3.10.3 Výpočtové hodnoty klimatických poměrů

Město: Brno

Nadmořská výška: 497 m.n.m.

Normální tlak vzduchu: 99,9 kPa

Výpočtové teploty vzduchu:

Zima	Teplota externí t_e [°C]	-12,0
	Relativní vlhkost Φ [%]	95
Léto	Teplota externí t_e [°C]	30
	Relativní vlhkost Φ [%]	40
	Entalpie h_e [kJ/kg]	57,9

3.10.4 Výpočtové hodnoty vnitřního prostředí

VZT 1 – obsluhující hlediště a jeviště, VZT 2 – obsluhující bufety v 1. a 2. NP, VZT 3 – obsluhující kanceláře, šatny a ostatní větrané místnosti.

VZT	Místnost	Teplota interiéru [°C]		Relativní vlhkost interiéru [%]		Hladina akustického tlaku [dB/A]
		Léto	Zima	Léto	Zima	
1	005 Jeviště	26	20	60	50	50
	006 Hlediště	26	20	60	50	50
2	020 Bufet	26	20	60	50	55
2	103 Bufet	26	20	60	50	55
3	101 Chodba		20	-	-	55
	102 Zázemí bufetu		20	max. 65	min 30	55
	104 Chodba		20	-	-	55
	105 Balkónek		20	max. 65	min 30	55
	106 Chodba		20	-	-	55
	107 Komora		20	max. 65	min 30	55
	108 Úklidový kout		20	max. 65	min 30	55
	109 Chodba		20	-	-	55
	110 Sklad		20	-	-	55
	111 Zázemí účinkujících	26	20	60	50	55
	112 Chodba		20	-	-	55
	113 Šatna		20	max. 65	min 30	55
	114 WC Muži		20	max. 65	min 30	55
	115 WC Ženy		20	max. 65	min 30	55
	116 Zasedání místnost	26	20	60	50	55
	117 Zasedání místnost	26	20	60	50	55
	118 Zasedání místnost	26	20	60	50	55

Hluk ve vnějším prostředí v denní době 50 dB (A) a v noci 50 dB (A).

3.10.5 Základní koncepční řešení

Zařízení 1 – hlediště a jeviště

Pro prostor hlediště a jeviště je navrženo nucené větrání, teplovzdušné vytápění s vlhčením vzduchu pro zimní období a nucené větrání s klimatizací pro letní období VZT jednotkou. Pro využití odváděného tepla a úsporu energie bude v jednotce směšovací komora a ZZT výměník. Větrání bude zabezpečovat nucenou výměnu čerstvého vzduchu v souladu s příslušnými hygienickými předpisy. VZT jednotka a rozvody budou v souladu s bezpečnostními a protipožárními předpisy a normami platnými na území České republiky. Provoz VZT zařízení bude řízen samostatným systémem MaR.

Zařízení 2 – Bufety

Pro prostor dvou bufetů je navrženo nucené větrání, teplovzdušné vytápění pro zimní období a nucené větrání s klimatizací pro letní období VZT jednotkou. Pro využití odváděného tepla a úsporu energie bude v jednotce ZZT výměník. Větrání bude zabezpečovat nucenou výměnu čerstvého vzduchu v souladu s příslušnými hygienickými předpisy. VZT jednotka a rozvody budou v souladu s bezpečnostními a protipožárními předpisy a normami platnými na území České republiky. Provoz VZT zařízení bude řízen samostatným systémem MaR.

Zařízení 3 – Kanceláře a ostatní větrané prostory

Pro prostor ostatních místností v 2. NP je navrženo nucené větrání vzduchem o teplotě rovné interiéru VZT jednotkou. Pro využití odváděného tepla a úsporu energie bude v jednotce ZZT výměník. Větrání bude zabezpečovat nucenou výměnu čerstvého vzduchu v souladu s příslušnými hygienickými předpisy. Místnosti kancelářů a šatna účinkujících budou chlazeny systémem multi-split od LG. VZT jednotka a rozvody budou v souladu s bezpečnostními a protipožárními předpisy a normami platnými na území České republiky. Provoz VZT zařízení bude řízen samostatným systémem MaR.

Zařízení 4 – Multi-split

Pro prostory zasedacích místností 116, 117, 118 a zázemí účinkujících 111 bude zřízen systém multi-split od LG pro chlazení vnitřního vzduchu v letním období a vytápění v zimním období. Vnitřní jednotky, dle specifikace, budou provozovat mokré chlazení za vzniku kondenzátu, který bude odveden do systému kanalizace. Systém je řešen v samostatném projektu.

3.10.6 Hygienické větrání a klimatizace

VZT jednotky 1 a 2 jsou navrženy na pokrytí tepelné zátěže v létě a tepelných ztrát v zimě. VZT jednotka 3 je navržena pouze pro větrání o stejné teplotě. Jednotky splňují požadavky na minimální výměnu vzduchu. Minimální výměna vzduchu je stanovena s uvažováním dávky vzduchu na osobu a počet zařizovacích předmětů.

Jeviště

- Dávka venkovního vzduchu na osobu 50 m³/h
- Rovnotlaké větrání
- Počet uvažovaných osob 30

Hlediště

- Dávka venkovního vzduchu na osobu 30 m³/h
- Rovnotlaké větrání
- Počet uvažovaných osob 275

Bufety

- Dávka venkovního vzduchu na osobu 50 m³/h
- Rovnotlaké větrání
- Počet uvažovaných osob 30

Kanceláře

- Dávka venkovního vzduchu na osobu 50 m³/h
- Rovnotlaké větrání
- Počet uvažovaných osob 10 na 1 místnost
- Prostory budou chlazeny sekundárním systémem multi-split

Šatna účinkujících

- Dávka venkovního vzduchu na osobu 50 m³/h
- Rovnotlaké větrání
- Počet uvažovaných osob 10
- Prostory budou chlazeny sekundárním systémem multi-split

WC ženy a WC muži

- Dávka venkovního vzduchu na zařizovací předmět: kabinka se záchodem 50 m³/h, umyvadlo 30 m³/h, pisoár 25 m³/h
- Podtlakově nasáván vzduch z chodby 101

3.10.7 Technologické větrání a chlazení

V objektu se nevyskytují tyto prostory.

3.10.8 Energetické zdroje

Elektrická energie

Elektrická energie je nutná pro provoz vzduchotechnických jednotek a systému MaR. Elektrická energie je uvažována pro pohon elektromotorů.

3.10.9 Popis technického řešení větracích a klimatizačních zařízení

Vzduchotechnické zařízení slouží pro tvorbu a udržení vhodného interního mikroklimatu v objektu podle požadavku na vnitřní prostředí. VZT jednotky jsou umístěny ve vzduchotechnické strojovně umístěné v místnosti na střeše objektu. Strojovna je přístupná ze střechy a má dostatečné vstupní prostory. Strojovna má vyspádovanou podlahu do kanalizační vpusti.

Všechny navržené systémy VZT jsou rovnotlaké. Vzduchotechnické systémy jsou navrženy tak, aby výměna vzduchu vyhovovala hygienickým, funkčním a technologickým požadavkům. Všechny jednotky jsou ve vnitřním provedení.

Doprava vzduchu je realizovaná čtyřhranným a sonoflex potrubím, s ohebnými hadicemi, se zvukovou izolací, pro napojení distribučních prvků.

Distribuční prvky pro přívod a odvod vzduchu jsou zvolené dle účelu a výšky místností – v úseku jeviště a hlediště to jsou převážně kruhové difuzory radiální pro přívod vzduchu a kruhové difuzory kompaktní pro odvod. Pro úsek bufetů jsou vířivé výustě na přívodu i odvodu. Na úseku ostatních místností jsou v kombinaci vířivé výustě TSB a TSS pro nižší průtoky.

Před každou sonoflex hadicí, která napojuje distribuční element, bude osazena regulační klapka.

Umístění venkovních elementů pro přívod a odvod vzduchu – dle výkresové dokumentace; vzdálenost je dostatečná. Odvodní potrubí je vyvedeno nad střechu, opatřeno stříškou a oplechováno. Přívodní potrubí je vedeno skrze stěny do exteriéru přes protidešťovou žaluzii.

Navržená VZT zařízení jsou rozdělené do funkčních celků: 1. Jeviště, hlediště 2. Bufety, 3. Ostatní větrané místnosti.

Zařízení 1 – Jeviště a hlediště. Nucené větrání a klimatizace

Navržená sestavná VZT jednotka REMAK AeroMaster XP. Jednotka byla navržena v programu AeroCAD.

Jednotka má skladbu: filtr na přívodu M5 a odvodu vzduchu G3, deskový rekuperační výměník s bypassem, směšovací komoru, vodní ohříváč, chladič, parní zvlhčovač, eliminátor kapek, 2 uzavírací klapky a 4 tlumicí manžety.

V zimním období v provozu bude deskový výměník, směšování, vodní ohříváč, parní zvlhčovač. Teplota přiváděného vzduchu 22,4°C, výsledná relativní vlhkost vzduchu 27%.

V letním období jednotka odvádí tepelnou zátěž. Přivádí vzduch do místnosti o teplotě 20°C s vlhkostí 74%.

Přívodní a odvodní potrubí je čtyřhranné, s částí sonoflex potrubí. Materiál – pozinkovaná ocel. Rozvody vzduchovodů budou schované v podhledu.

Jako exteriérové elementy jsou navrženy protidešťové žaluzie na přívodu a stříška na odvodu. Systém je navržen jako rovnotlaký vzhledem k ostatním prostorům. Ovládání a regulaci zajistí profese MaR (blíže samostatná kapitola).

Zařízení 2 – Bufety. Nucené větrání a klimatizace

Navržená sestavná VZT jednotka REMAK AeroMaster XP. Jednotka byla navržena v programu AeroCAD.

Jednotka má skladbu: filtr na přívodu M5 a odvodu vzduchu G3, deskový rekuperační výměník s bypassem, vodní ohříváč, chladič, eliminátor kapek, 2 uzavírací klapky a 4 tlumicí manžety.

V zimním období v provozu bude deskový výměník, vodní ohříváč, Teplota přiváděného vzduchu 23,7°C, výsledná relativní vlhkost vzduchu 7,1%.

V letním období jednotka odvádí tepelnou zátěž. Přivádí vzduch do místnosti o teplotě 20°C s vlhkostí 68,7%.

Přívodní a odvodní potrubí je čtyřhranné, s částí sonoflex potrubí. Materiál – pozinkovaná ocel. Rozvody vzduchovodů budou schované v podhledu.

Jako exteriérové elementy jsou navrženy protidešťové žaluzie na přívodu a stříška na odvodu. Systém je navržen jako rovnotlaký vzhledem k ostatním prostorům. Ovládání a regulaci zajistí profese MaR (blíže samostatná kapitola).

Zařízení 3 – Ostatní místnosti. Nucené větrání

Navržena sestavná VZT jednotka REMAK AeroMaster XP. Jednotka byla navržena v programu AeroCAD.

Jednotka má skladbu: filtr na přívodu M5 a odvodu vzduchu G3, deskový rekuperační výměník s bypassem, vodní ohřívač, chladič, eliminátor kapek, 2 uzavírací klapky a 4 tlumicí manžety.

V zimním období v provozu bude deskový výměník, vodní ohřívač, Teplota přiváděného vzduchu 20°C, výsledná relativní vlhkost vzduchu 8,8%.

V letním období jednotka přivádí vzduch do místnosti o teplotě 26°C s vlhkosti 50,5%.

Přívodní a odvodní potrubí je čtyřhranné, s části sonoflex potrubí. Materiál – pozinkovaná ocel. Rozvody vzduchovodů budou schované v podhledu.

Jako exteriérové elementy jsou navrženy protidešťové žaluzie na přívodu a stříška na odvodu. Systém je navržen jako rovnotlaký vzhledem k ostatním prostorům. Ovládání a regulaci zajistí profese MaR (blíže samostatná kapitola).

Zařízení 4 – Multi-split

Pro prostory zasedacích místností 116, 117, 118 a zázemí účinkujících 111 bude zřízen systém multi-split od LG pro chlazení vnitřního vzduchu v letním období. Vnitřní jednotky, dle specifikace, budou provozovat mokré chlazení za vzniku kondenzátu, který bude odveden do systému kanalizace. Systém je řešen v samostatném projektu.

3.10.10 Nároky na energie

Tepelná energie

Pro ohřev vzduchu v tepelných výměnících vzduchotechnických jednotek a ohřívačů bude sloužit topná voda s rozsahem pracovních teplot 70/50 °C. Dodávku teplé vody řeší profese ÚT.

Chlazení venkovního vzduchu ve výměníku VZT jednotky bude zajištěno chladicí vodou s rozsahem pracovních teplot 7/13 °C. Dodávku chladicí vody řeší samostatný projekt chlazení objektu.

Elektrická energie

Na elektrickou síť budou napojeny všechny elektrické komponenty vzduchotechnických jednotek.

3.10.11 Měření a regulace

Navržené systémy VZT budou řízeny a regulovány samostatným systémem měření a regulace – profese MaR. Regulace je řešena v samostatném projektu.

3.10.12 Nároky na stavební úpravy

- Zřízení strojovny na střeše. Budou zajištěny stavební práce místnosti na střeše a bezpečnostní opatření pro pohyb na střeše – zábradlí, lana. Podlaha bude vyspádovaná do podlahové vpusti a vchod do strojovny bude vyvýšen (v interiéru vyrovnán schodem a v exteriéru plošinou ve spádu).
- Provedení otvorů v prostupech potrubí o 40mm větší na každou stranu vertikálně i horizontálně.
- Těsnění prostupů izolací
- Otvory v sádkartonovém podhledu pro distribuční elementy
- Revizní otvory pod regulačními klapkami před napojení distribučních elementů sonoflex hadicí
- V místnostech WC muži a WC ženy budou dveře s větrací mřížkou.

3.10.13 Nároky na silnoproud

- Připojení VZT jednotek
- Připojení regulace MaR

3.10.14 Nároky na vytápění

- Připojení ohříváčů VZT jednotek na rozvod topné vody 70/50°C
- Strojovna se bude temperovat.

3.10.15 Nároky na chlazení

- Vypracování projektu pro provedení systému multi-split
- Napojení chladiče VZT jednotek na zdroj chladu

3.10.16 Nároky na zdravotní techniku

- Odvedení kondenzátu z deskových výměníků, chladičů a eliminátorů kapek
- Odvedení kondenzátu od parního zvlhčovače u jednotky č. 1
- Připojení podlahové vpusti strojovny na kanalizaci

3.10.17 Protihluková a protiotřesová opatření

- Byl proveden návrh potřebných tlumiče hluku pro dodržení hlukových limitů
- Navrženy kulísové tlumiče hluku, na straně do interiéru, společnosti MART s.r.o.
- Akustický tlak do exteriéru vyhovuje a není třeba osazovat tlumiče
- Prostupy vzduchovodů stavebními konstrukcemi budou utěsněné izolací
- Připojení vzduchovodů k VZT jednotkám pomoci tlumících vložek

3.10.18 Izolace a nátěry

Zařízení 1 – Jevišťe a hlediště:

Tepelná a zvuková izolace z minerální vlny s povrchovou úpravou polepem hliníkovou fólií tl.40 mm Orstech 45 H pro čtyřhranné potrubí v 1. a 2. NP od společnosti ISOVER.

Tepelná a zvuková izolace z minerální vlny s povrchovou úpravou polepem hliníkovou fólií tl.60 mm Orstech 45 H pro čtyřhranné potrubí ve strojovně od společnosti ISOVER.

Zařízení 2 – Bufety:

Tepelná a zvuková izolace z minerální vlny s povrchovou úpravou polepem hliníkovou fólií tl.40 mm Orstech 45 H pro čtyřhranné potrubí v 1. a 2. NP od společnosti ISOVER.

Tepelná a zvuková izolace z minerální vlny s povrchovou úpravou polepem hliníkovou fólií tl.60 mm Orstech 45 H pro čtyřhranné potrubí ve strojovně od společnosti ISOVER.

Zařízení 3 – Ostatní místnosti:

Tepelná a zvuková izolace z minerální vlny s povrchovou úpravou polepem hliníkovou fólií tl.40 mm Orstech 45 H pro čtyřhranné potrubí v 1. a 2. NP od společnosti ISOVER.

Tepelná a zvuková izolace z minerální vlny s povrchovou úpravou polepem hliníkovou fólií tl.60 mm Orstech 45 H pro čtyřhranné potrubí ve strojovně od společnosti ISOVER.

Požární izolace pro všechny jednotky čtyřhranného potrubí, desky z minerální vaty – Orstech 65 H od společnosti ISOVER.

3.10.19 Protipožární opatření

Navržena požární izolace dle odstavce 8. izolace a nátěry. Všechny prostupy požárními konstrukcemi jsou opatřeny požárními uzavíracími klapkami od společnosti SYSTEMAIR se servopohonem a požární izolací. Součástí systému MaR je požární signalizace.

3.10.20 Montáž, provoz, údržba a obsluha zařízení

Musí být dodrženy pokyny pro montáž, údržbu a obsluhu podle technických listů společnosti REMAK, aby byla zajištěna funkčnost zařízení a nedošlo ke zkrácení životnosti jednotky nebo ke vzniku úrazu. Provozovatel musí zajistit pravidelnou kontrolu zařízení.

3.10.21 Závěr

Vzduchotechnické zařízení bylo navrženo v souladu s planou legislativou ČR. Zařízení splňuje kladené na ně požadavky na zajištění komfortního vnitřního stavu prostředí. Je navrženo bezpečně pro provoz stavby z hlediska vlhkosti.

3.11 Specifikace zařízení

Zařízení č. 1 - Teplovzdušné vytápění a klimatizace prostoru sálu a jeviště

1.01 Remak Centrální VZT jednotka Remak Aeromaster XP 17 ve vnitřním provedení nad sebou s výměníkem ZZT s bypassem, dvěma ventilátory vodním ohřívacem, vodním chladičem, eliminátorem kapek, směřováním vzduchu a parním vlhčením. Rám s nohami, vybavena prvky MaR kpl 1

1.02	Systemair	Požární klapka PKI-S 900x800	ks	1
1.03	Systemair	Regulační klapka těsná RKT SYS-S se servopohonem 800x400	ks	1
1.04	Systemair	Regulační klapka těsná RKT SYS-S se servopohonem 800x560	ks	1
1.05	Systemair	Změna průřezu s regulační klapkou SPI-F 315/LM24A	ks	38
1.06	Halton	Kruhový difuzor TRB-315R - radiální	ks	19
1.07	Systemair	Požární klapka PKI-S 1000x710	ks	1
1.08	Systemair	Regulační klapka těsná RKT SYS-S se servopohonem 500x355	ks	1
1.09	Systemair	Regulační klapka těsná RKT SYS-S se servopohonem 800x710	ks	1
1.10	Halton	Kruhový difuzor TRB-315C - kompaktní	ks	19
1.11	Systemair	Regulační klapka těsná RKT SYS-S se servopohonem 500x250	ks	1
1.12	Systemair	Regulační klapka těsná RKT SYS-S se servopohonem 500x160	ks	1
1.13	Halton	PAL - external louvre 1400x1250	ks	1
1.14	Mart	Kulisový tlumič THKU.1400.1200.1300-3 8x KTH.100.1200.1300	ks	2

Zařízení č. 2 - Teplovzdušné vytápění a klimatizace prostoru bufetů v 1. a 2. NP

2.01 Remak Centrální VZT jednotka Remak Aeromaster XP 06 ve vnitřním provedení nad sebou s výměníkem ZZT s bypassem, dvěma ventilátory, vodním ohřívacem, vodním chladičem a eliminátorem kapek. Rám s nohami, vybavena prvky MaR kpl 1

2.02	Systemair	Požární klapka PKI-S 500x450	ks	4
2.03	Systemair	Regulační klapka těsná RKT SYS-R 500x250	ks	1
2.04	Systemair	Regulační klapka těsná RKT SYS-R 500x160	ks	1
2.05	Systemair	Změna průřezu s regulační klapkou SPI 250	ks	6
2.06	Halton	Vířivá výust' TSB-250 s plenum boxem TRI/S-250-250	ks	6
2.07	Systemair	Požární klapka PKI-S 500x250	ks	2
2.08	Systemair	Změna průřezu s regulační klapkou SPI 315	ks	4
2.09	Halton	Vířivá výust' TSB-315	ks	4
2.10	Halton	Vířivá výust' TSB-315 s plenum boxem TRI/E-315-315	ks	4
2.11	Halton	PAL - external louvre 1000x560	ks	1
2.12	Mart	Kulisový tlumič THKU.700.600.800-3 8x KTH.100.600.800	ks	1
2.13	Mart	Kulisový tlumič THKU.700.600.600-3 8x KTH.100.600.600	ks	1

Zařízení č. 3 - Teplovzdušné větrání prostoru

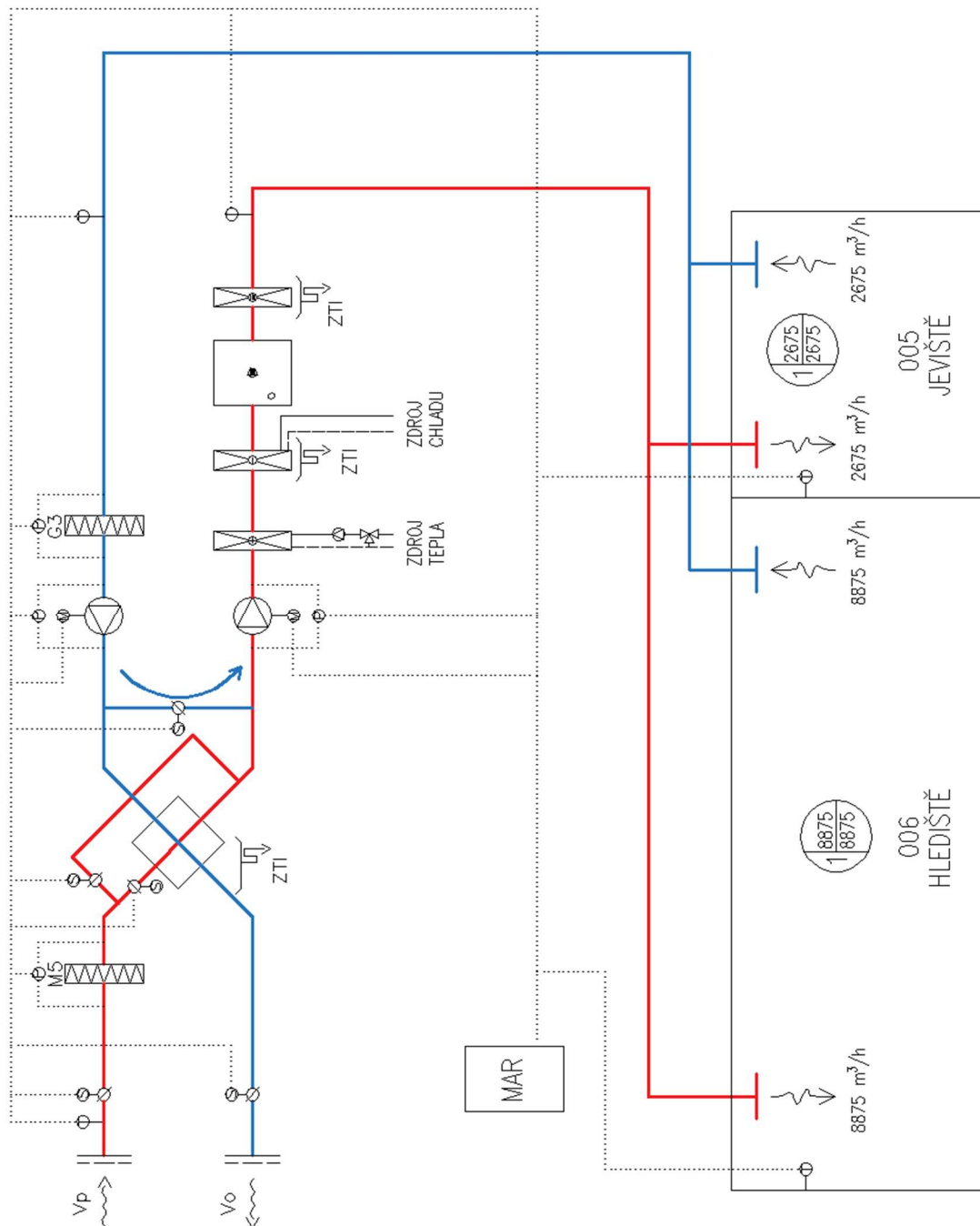
3.01	Remak	Centrální VZT jednotka Remak Aeromaster XP 06 ve vnitřním provedení nad sebou s výměníkem ZZT s bypassem, dvěma ventilátory, vodním ohříváčem, vodním chladičem a eliminátorem kapek. Rám s nohama, vybavena prvky MaR	kpl	1
3.02	Systemair	Regulační klapka těsná RKT SYS-R 450x355	ks	2
3.03	Systemair	Regulační klapka těsná RKT SYS-R 250x560	ks	2
3.04	Systemair	Požární klapka PKI-S 355x450	ks	4
3.05	Systemair	Regulační klapka těsná RKT SYS-R 355x450	ks	3
3.06	Systemair	Regulační klapka těsná RKT SYS-R 355x451	ks	1
3.07	Systemair	Změna průřezu s regulační klapkou SPI 250	ks	15
3.08	Systemair	Změna průřezu s regulační klapkou SPI 160	ks	6
3.09	Systemair	Změna průřezu s regulační klapkou SPI 200	ks	2
3.10	Systemair	Změna průřezu s regulační klapkou SPI 125	ks	14
3.11	Halton	Vířivá výust' TSB-250 s plenum boxem TRI/S-250-250	ks	6
3.12	Halton	Vířivá výust' TSS/B-250 s plenum boxem TRI/S-250-250	ks	2
3.13	Halton	Vířivá výust' TSS/B-160 s plenum boxem TRI/S-160-160	ks	3
3.14	Halton	Vířivá výust' TSS/B-200 s plenum boxem TRI/S-200-200	ks	1
3.15	Halton	Vířivá výust' TSS/B-125 s plenum boxem TRI/S-125-125	ks	3
3.16	Halton	Vířivá výust' TSB-250 s plenum boxem TRI/E-250-250	ks	6
3.17	Systemair	Regulační klapka těsná RKT SYS-R 250x250	ks	2
3.18	Systemair	Regulační klapka těsná RKT SYS-R 315x250	ks	2
3.19	Systemair	Požární klapka PKI-S 250x250	ks	2
3.20	Systemair	Požární klapka PKI-S 315x250	ks	2
3.21	Systemair	Regulační klapka těsná RKT SYS-R 100x160	ks	2
3.22	Halton	PAL - external louvre 1000x710	ks	1
3.23	Halton	Vířivá výust' TSR/B-125	ks	6
3.24	Halton	Vířivá výust' TSS/B-250 s plenum boxem TRI/E-250-250	ks	1
3.25	Halton	Vířivá výust' TSS/B-125 s plenum boxem TRI/E-125-125	ks	5
3.26	Halton	Vířivá výust' TSS/B-160 s plenum boxem TRI/E-160-160	ks	3
3.27	Halton	Vířivá výust' TSS/B-200 s plenum boxem TRI/E-200-200	ks	1
3.28	Mart	Kulisový tlumič THKU.700.600.800-3 8x KTH.100.600.800	ks	2

Zařízení č. 4 - Chlazení

4.01	LG	Vnitřní chladicí jednotka LIBERO R MS18AQ NCO	ks	3
4.02	LG	Vnitřní chladicí jednotka LIBERO R MS24AQ NCO	ks	2

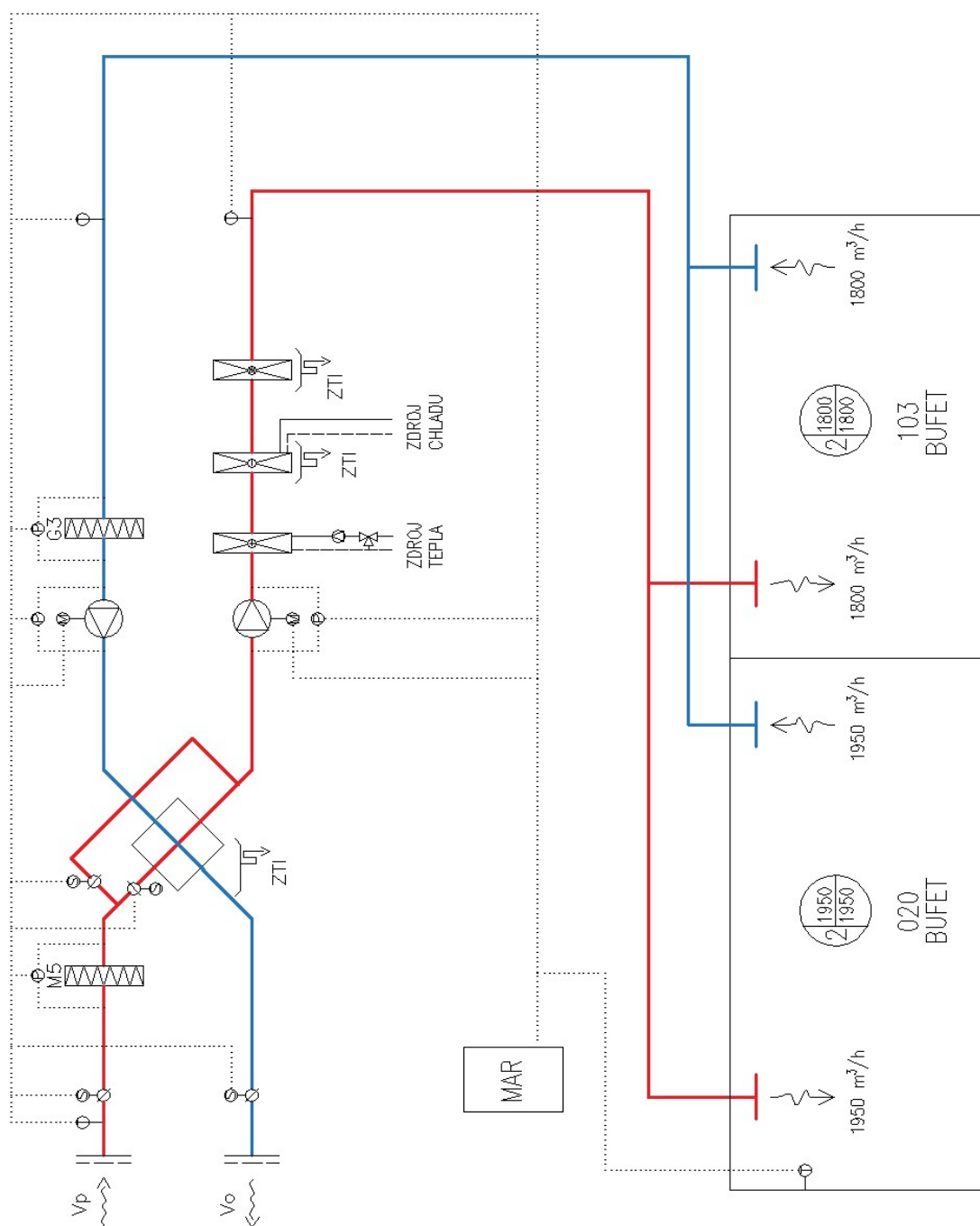
3.12 Regulační schéma zapojení

ZAŘÍZENÍ Č.1 – HLEDIŠTĚ A JEVIŠTĚ



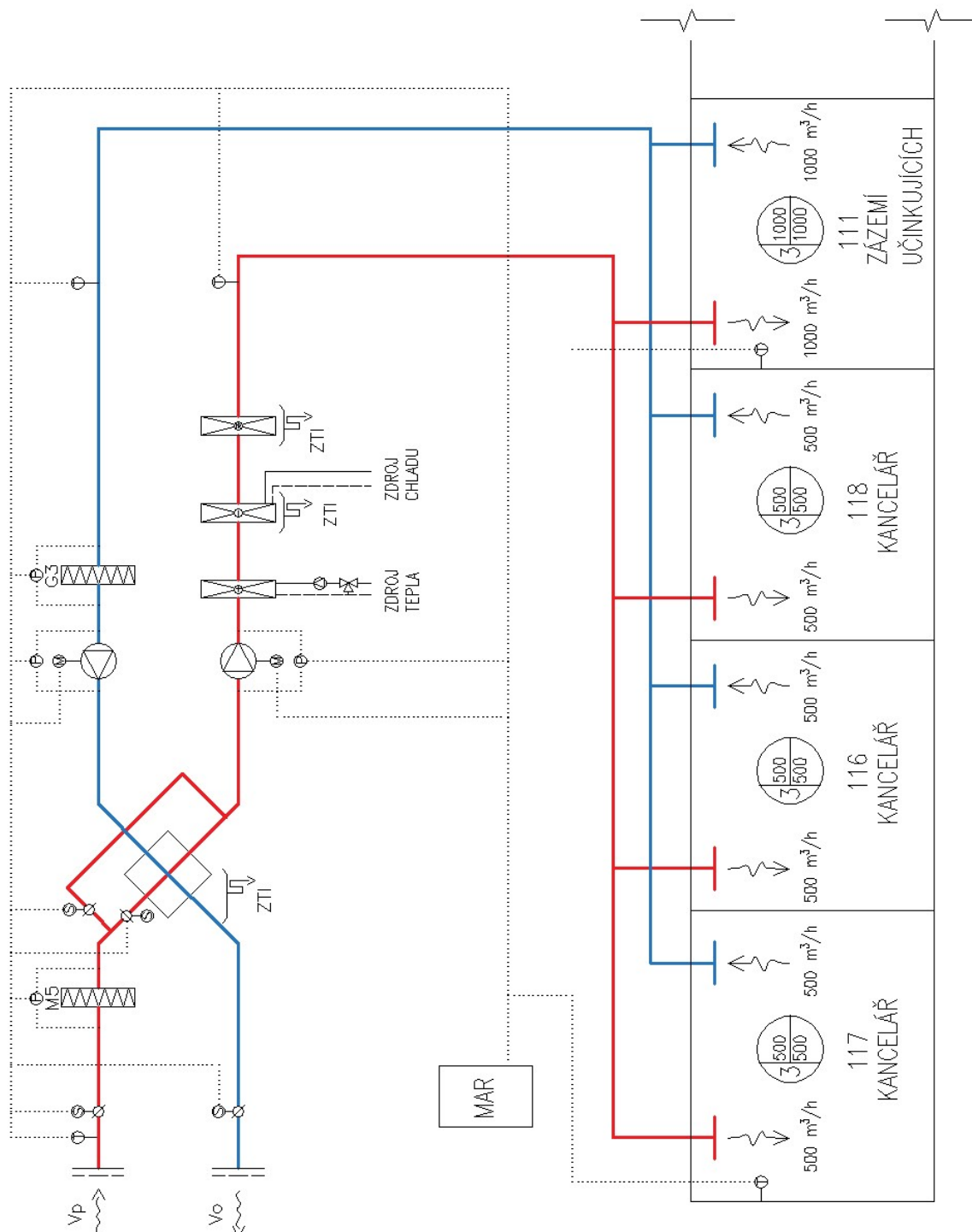
Obr.č.110 Regulační schéma zařízení č.1

ZAŘÍZENÍ Č.2 – BUFETY



Obr.č.111 Regulační schéma zařízení č.2

ZAŘÍZENÍ Č.3 – OSTATNÍ MÍSTNOSTI



Obr.č.112 Regulační schéma zařízení č.3

ZÁVĚR

V teoretické části jsou popsány základní typy proudění vzduchu ve vzduchovodech a prostoru a jejich aplikace v dnešní praxi.

Výsledkem matematicko-fyzikálního řešení jsou vizualizace simulací tří variant distribuce vzduchu a zhodnocení dopadu distribuce na kvalitu mikroklimatu v pobytové zóně. Původní varianta, která byla navržena dříve v bakalářské práci pouze empiricky, nakonec nevyhověla. Regulací průtoků, ve variantě druhé, se docílilo k vyhovujícím parametrům proudění. Třetí a poslední varianta distribuce je pomocí dýz, která nevyhověla jen ve výjimečných místech pobytové zóny.

V koncepční části je návrh původní varianty návrhu, který je zpracovaný na úrovni dokumentu pro provedení stavby a byl hlavním podkladem pro tvorbu matematicko-fyzikálního modelu.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

KNIHY A AKADEMICKÉ PRÁCE

- [1] J.CHÝSKÝ, K.HEMZAL A KOL. *Větrání a klimatizace*. Brno: BOLIT, 1993. 560 s. ISBN 80-901574-0-8
- [2] M.SZÉKYOVÁ, K.FERSTL, R.NOVÝ. *Větrání a klimatizace*. Bratislava: JAGA GROUP, 2006. ISBN 80-8076-037-3
- [3] J.SMOLÍK A KOL. *Technika prostředí*. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1970. 324 s.
- [4] G.GEBAUER, O.RUBINOVÁ, H.HORKÁ. *Vzduchotechnika*. Brno: ERA group, 2005. ISBN 80-7366-027-X
- [5] Bc. Jiří Bernard *Hydraulika potrubních sítí ve vzduchotechnice*. Brno. 2014. 75 s., 4 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technických zařízení budov. Vedoucí práce Ing. Olga Rubinová. Ph.D..
- [6] ŠTEFAN, D. *Hydraulické ztráty v potrubí*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 40 s. Vedoucí Bakalářské práce Ing. Pavel Rudolf. Ph.D.
- [7] Bečica, R. Vizualizace proudu z větrací vyústky pro přístrojovou desku osobního vozu. Brno: Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství, 201. 79 s. Vedoucí diplomové práce Ing. František Lízal, Ph.D.
- [8] P.K.KUNDU, I.M.COHEN. *Fluid Mechanics*. United states: Elsevier, 2008. 872 s. ISBN 978-0-12-373735-9
- [9] JÍZDNÝ, M. *Vlastní tvary vírového proudění*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 79 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Pavel Rudolf, Ph.D.

ELEKTRONICKÉ ZDROJE

- [10] L.F.MOODY. *Friction factor for pipe flows*. Trans. ASME, Princeton, N. J., USA 1944. [cit. 25.11.2017]. Dostupné z: <http://pages.mtu.edu/~fmorriso/cm310/MoodyLFPaper1944.pdf>

NORMY

- [11] ČSN 73 0872 – Požární bezpečnost staveb. Ochrana staveb proti šíření požáru vzduchotechnickým zařízení
- [12] Nařízení vlády č. 148/2006 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací. In: č. 148/2006 Sb. 2006.
- [13] ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov
- [14] ČSN 12 7010 Vzduchotechnická zařízení

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK

Značka	Jednotka	Popis
M_m	g/mol	Molární hmotnost
V_m	dm ³ /mol	Molární objem
r	J/kg.K	Plynová konstanta
	m	Poloměr
ρ	kg/m ³	Hustota
c	kJ/kg.K	Měrná tepelná kapacita
κ	-	Izoentropický exponent
t	°C	Teplota
t_t	°C	Teplota tání
t_v	°C	Teplota varu
p	Pa	Tlak
p_d	Pa	Tlak vodní páry
p''_d	Pa	Tlak syté vodní páry
H_m	m	Nadmořská výška
φ	%	Relativní vlhkost
μ	Pa·s	Viskozita
ν	m ² /s	Kinematická viskozita
w	m/s	Rychlost
\dot{m}	kg/s	Hmotnostní průtok
V	m ³	Objem
	m ³ /s	Objemový průtok
S	m ²	Plocha průřezu
A	m ²	Plocha
t	s	Čas
g	m/s ²	Gravitační zrychlení
e	J	Energie
q	J	Tepelná energie
	W/m ²	Hustota tepelného toku
Q	W	Výkon
I	J	Mechanická energie
I_v	J	Mechanická energie ventilátoru
Δp_z	Pa	Tlaková ztráta
H	kg·m/s	Hybnost
	m	Světlá výška
H_z	m	Výška pobytové zóny
F	N	Síla
c_u	m/s	Obvodová rychlost
M_k	kN·m	Moment vnějších sil
Re	-	Reynoldsovo číslo
α	-	Coriolisův součinitel
β	-	Boussinesqův součinitel
λ	W/m·K	Součinitel tepelné vodivosti
	-	Součinitel tření
D	m	Vnější průměr
d	m	Vnitřní průměr, tloušťka

τ	Pa	Smykové napětí
ξ	-	Součinitel místních odporů
U	m	Obvod
	W/m ² ·K	Součinitel prostupu tepla
ϑ	°	Úhel rozšiřování volného proudu
Pr	-	Prandtlůvo kritérium
R	m ² ·W/K	Tepelný odpor
VZT	-	Vzduchotechnika, vzduchotechnická
ZZT	-	Zpětné získávání tepla
MaR	-	Měření a regulace
M _w	g/s	Vodní tok
L	dB	Hladina akustického tlaku
R	Pa	Tlaková ztráta
FCU	-	Vnitřní chladicí jednotka

SEZNAM TABULEK A OBRÁZKŮ

- Tab.č.1 – složení suchého vzduchu*
Tab.č.2 – fyzikální vlastnosti vzduchu při 0 °C a 101 325 Pa
Tab.č.3 – Základní případy proudové a potenciální funkce
Tab.č.4 – Skladba konstrukce střechy v programu TERUNA
Tab.č.5 – Skladba konstrukce střechy ručního výpočtu
Tab.č.6 – Skladba konstrukce podlahy na zemině ručního výpočtu – letní období
Tab.č.7 – Skladba konstrukce podlahy pod schodnicemi ručního výpočtu – letní období
Tab.č.8 – Povrchové teploty konstrukcí v hledišti - letní období
Tab.č.9 – Skladba konstrukce střechy v programu PROTECH
Tab.č.10 – Skladba konstrukce střechy ručního výpočtu
Tab.č.11 – Skladba konstrukce podlahy na zemině ručního výpočtu – zimní období
Tab.č.12 – Skladba konstrukce podlahy pod schodnicemi ručního výpočtu – zimní období
Tab.č.13 – Povrchové teploty konstrukcí v hledišti – zimní období
Tab.č.14 – Výpočtové klimatické hodnoty
Tab.č.15 – Výpočtové hodnoty vnitřního prostředí
Tab.č.16 – Součinitelé prostupu tepla
Tab.č.17 – Tepelné ztráty místností
Tab.č.18 návrhové hodnoty a průtoky vzduchu
Tab.č.19 Výpis distribučních elementů veškerých větraných místností
Tab.č.20 dimenzování potrubí
Tab.č.21 hodnoty úprav vzduchu ve vnitřních jednotkách, viz obr. 37, 38, 39
Tab.č.22 Útlum hluku v přívodním potrubí zařízení č. 1
Tab.č.23 Útlum hluku v odvodním potrubí zařízení č. 1
Tab.č.24 Návrh tlumiče hluku v přívodním potrubí zařízení č. 1
Tab.č.25 Návrh tlumiče hluku v odvodním potrubí zařízení č. 1
Tab.č.26 Útlum hluku v přívodním potrubí zařízení č. 2
Tab.č.27 Útlum hluku v odvodním potrubí zařízení č. 2
Tab.č.28 Návrh tlumiče hluku v přívodním potrubí zařízení č. 2
Tab.č.29 Návrh tlumiče hluku v odvodním potrubí zařízení č. 2
Tab.č.30 Útlum hluku v přívodním potrubí zařízení č. 3
Tab.č.31 Útlum hluku v odvodním potrubí zařízení č. 3
Tab.č.32 Návrh tlumiče hluku v přívodním potrubí zařízení č. 3
Tab.č.33 Návrh tlumiče hluku v odvodním potrubí zařízení č. 3
Tab.č.34 Útlum hluku do exteriéru z přívodu zařízení č. 1
Tab.č.35 Útlum hluku do exteriéru z přívodu zařízení č. 2
Tab.č.36 Útlum hluku do exteriéru z přívodu zařízení č. 3
Tab.č.37 Útlum hluku do exteriéru z odvodu zařízení č. 1
Tab.č.38 Útlum hluku do exteriéru z odvodu zařízení č. 2
Tab.č.39 Útlum hluku do exteriéru z odvodu zařízení č. 3

- Obr.č.1 – Závislost hustoty suchého vzduchu na teplotě*
Obr.č.2 – Závislost hustoty vzduchu na relativní vlhkosti při teplotě 20°C
Obr.č.3 – Rovnice kontinuity při změně průřezu
Obr.č.4 – Bernoulliho věta ideální kapaliny
Obr.č.5 – Věta o změně hybnosti
Obr.č.6 – Profil rychlostí v potrubí
Obr.č.7 – Nestabilita v obecné mechanice
Obr.č.8a – Laminární proudění

Obr.č.8b – Turbulentní proudění
 Obr.č.9 – Moodyho diagram
 Obr.č.10 – Proudění vzduchu vzduchovodem
 Obr.č.11 – Tlakové definice
 Obr.č.12 – Coandův jev
 Obr.č.13 – Základní geometrické útvary proudu vzduchu v místnosti
 Obr.č.14 – Schéma volného proudu z kruhové vyústky
 Obr.č.15 – Schéma volného proudu bodového pramenu
 Obr.č.16 – Pokles osové rychlosti volného proudu se vzdáleností od vyústky (orientační hodnoty)
 Obr.č.17 – Hranice volného proudu ve vzdálenosti od vyústky při $w/w_m = \text{konst.}$ (orientační hodnoty)
 Obr.č.18 – Hranice kruhového volného proudu při $w/w_m = \text{konst.}$ (orientační hodnoty)
 Obr.č.19 – Schéma primárního proudu v uzavřeném prostoru
 Obr.č.20 – Pokles maximální rychlosti v proudu stíněném zpětným prouděním. (orientační hodnoty)
 Obr.č.21 – změna spojnice proudu při neizotermním prouděním
 Obr.č.22 – neizotermní proudy
 Obr.č.23 – Průběh rychlosti w , koncentrace k , teploty t po výšce místnosti H při distribuci zhora
 Obr.č.24 – Průběh rychlosti w , koncentrace k , teploty t po výšce místnosti H při distribuci zdola
 Obr.č.25 – Vizualizační obrázek – pohled do hlediště
 Obr.č.26 a 27 – Vizualizační obrázky – pohled z hlediště a z balkónu
 Obr.č.28 – Zjednodušený 3D model importovaný do prostředí programu Star CCM+
 Obr.č.29 – Schéma skladby konstrukce střechy pro řešení v programu TERUNA
 Obr.č.30 – Graf výsledných teplot stropu v průběhu dne programu TERUNA
 Obr.č.31 – Schéma skladby střechy pro ruční výpočet – letní období
 Obr.č.32 – Graf výsledných teplot podlahy a symetrické stěny v průběhu dne programu TERUNA
 Obr.č.33 – Schéma skladby podlahy pod schodnicemi programu TERUNA
 Obr.č.34 – Schéma skladby podlahy pod schodnicemi pro ruční výpočet – letní období
 Obr.č.35 – Graf výsledných teplot povrchů jeviště v průběhu dne programu TERUNA
 Obr.č.36 – Graf výsledných teplot povrchu vnější stěny jeviště v průběhu dne programu TERUNA
 Obr.č.37 – Schéma skladby konstrukce střechy pro řešení v programu PROTECH
 Obr.č.38 – Schéma skladby střechy pro ruční výpočet - zimní období
 Obr.č.39 – Schéma skladby podlahy pod schodnicemi programu PROTECH
 Obr.č.40 – Schéma skladby podlahy pod schodnicemi pro ruční výpočet – zimní období
 Obr.č.41 – Vyšetřovací řezná rovina v pobytové zóně
 Obr.č.42 – Svislá řezná rovina v ose vyústek
 Obr.č.43 – Model kruhových difuzorů
 Obr.č.44 – Teplotní pole šikmého vyšetřovacího řezu v pobytové zóně – původní stav letní období
 Obr.č.45 – Teplotní pole svislého řezu – původní stav letní období
 Obr.č.46 – Rychlostní pole šikmého vyšetřovacího řezu v pobytové zóně – původní stav letní období
 Obr.č.47 – Rychlostní pole svislého řezu – původní stav letní období
 Obr.č.48 – Teplotní pole šikmého vyšetřovacího řezu v pobytové zóně – původní stav zimní období
 Obr.č.49 – Teplotní pole svislého řezu – původní stav zimní období
 Obr.č.50 – Rychlostní pole šikmého vyšetřovacího řezu v pobytové zóně – původní stav zimní období
 Obr.č.51 – Rychlostní pole svislého řezu – původní stav zimní období
 Obr.č.52 – Teplotní pole šikmého vyšetřovacího řezu v pobytové zóně – varianta 2 letní období
 Obr.č.53 – Teplotní pole svislého řezu – varianta 2 letní období
 Obr.č.54 – Rychlostní pole šikmého vyšetřovacího řezu v pobytové zóně – varianta 2 letní období
 Obr.č.55 – Rychlostní pole svislého řezu – varianta 2 letní období
 Obr.č.56 – Teplotní pole šikmého vyšetřovacího řezu v pobytové zóně – varianta 2 zimní období
 Obr.č.57 – Teplotní pole svislého řezu – varianta 2 zimní období
 Obr.č.58 – Rychlostní pole šikmého vyšetřovacího řezu v pobytové zóně – varianta 2 zimní období
 Obr.č.59 – Rychlostní pole svislého řezu – varianta 2 zimní období
 Obr.č.60 – Model dýz

Obr.č.61 – Teplotní pole šikmého vyšetřovacího řezu v pobytové zóně – varianta 3 letní období
 Obr.č.62 – Teplotní pole svislého řezu – varianta 3 letní období
 Obr.č.63 – Rychlostní pole šikmého vyšetřovacího řezu v pobytové zóně – varianta 3 letní období
 Obr.č.64 – Rychlostní pole svislého řezu – varianta 3 letní období
 Obr.č.65 – Teplotní pole šikmého vyšetřovacího řezu v pobytové zóně – varianta 3 zimní období
 Obr.č.66 – Teplotní pole svislého řezu – varianta 3 zimní období
 Obr.č.67 – Rychlostní pole šikmého vyšetřovacího řezu v pobytové zóně – varianta 3 zimní období
 Obr.č.68 – Rychlostní pole svislého řezu – varianta 3 zimní období
 Obr.č.69 Rozdělení objektu na funkční celky – 2.NP
 Obr.č.70 Rozdělení objektu na funkční celky – 1.NP
 Obr.č.71 Průběh tepelné zátěže pro místnost M005 jeviště
 Obr.č.72 Průběh tepelné zátěže pro místnost M006 hlediště
 Obr.č.73 Průběh tepelné zátěže pro místnost M020 bufet
 Obr.č.74 Průběh tepelné zátěže pro místnost M103 bufet
 Obr.č.75 Průběh tepelné zátěže pro místnost M116 a M118 zasedací místnosti
 Obr.č.76 Průběh tepelné zátěže pro místnost M117 zasedací místnost
 Obr.č.77 Průběh tepelné zátěže pro místnost M111 zázemí účinkujících
 Obr.č.78 nastavitelný kruhový difuzor Halton TRB
 Obr.č.79 Talířový ventil URH
 Obr.č.80 Vířivá výust' TSS
 Obr.č.81 Vířivá výust' TSB
 Obr.č.82 Dimenzační schéma 2.NP
 Obr.č.83 Dimenzační schéma 1.NP
 Obr.č.84 Schéma vzduchotechnické jednotky č. 1
 Obr.č.85 Schéma vzduchotechnické jednotky č. 2
 Obr.č.86 Schéma vzduchotechnické jednotky č. 3
 Obr.č.87 Podklady výrobce nástěnných jednotek LG
 Obr.č.88 Průběh úpravy vzduchu ve vnitřních jednotkách – místnost M116 a M118
 Obr.č.89 Průběh úpravy vzduchu ve vnitřních jednotkách – místnost M117
 Obr.č.90 Průběh úpravy vzduchu ve vnitřních jednotkách – místnost M111
 Obr.č.91 Podklady výrobce venkovních jednotek
 Obr.č.92 Návrh tlumiče pro přívod zařízení č. 1
 Obr.č.93 Návrh tlumiče pro odvod zařízení č. 1
 Obr.č.94 Návrh tlumiče pro přívod zařízení č. 2
 Obr.č.95 Návrh tlumiče pro odvod zařízení č. 2
 Obr.č.96 Návrh tlumiče pro přívod zařízení č. 3
 Obr.č.97 Návrh tlumiče pro odvod zařízení č. 3
 Obr.č.98 Návrh izolace odváděného potrubí před jednotkou č. 1
 Obr.č.99 Návrh izolace odváděného potrubí za jednotkou č. 1
 Obr.č.100 Návrh izolace přiváděného potrubí před jednotkou č. 1
 Obr.č.101 Návrh izolace přiváděného potrubí za jednotkou č. 1
 Obr.č.102 Návrh izolace odváděného potrubí před jednotkou č. 2
 Obr.č.103 Návrh izolace odváděného potrubí za jednotkou č. 2
 Obr.č.104 Návrh izolace přiváděného potrubí před jednotkou č. 2
 Obr.č.105 Návrh izolace přiváděného potrubí za jednotkou č. 2
 Obr.č.106 Návrh izolace odváděného potrubí před jednotkou č. 3
 Obr.č.107 Návrh izolace odváděného potrubí za jednotkou č. 3
 Obr.č.108 Návrh izolace přiváděného potrubí před jednotkou č. 3
 Obr.č.109 Návrh izolace přiváděného potrubí za jednotkou č. 3
 Obr.č.110 Regulační schéma zařízení č.1
 Obr.č.111 Regulační schéma zařízení č.2
 Obr.č.112 Regulační schéma zařízení č.3

SEZNAM PŘÍLOH

Plakáty vizualizací simulací

P1	Původní stav – letní období	A3 (2xA4)
P2	Původní stav – zimní období	A3 (2xA4)
P3	Varianta 2 – varianta regulace průtoků – letní období	A3 (2xA4)
P3	Varianta 2 – varianta regulace průtoků – zimní období	A3 (2xA4)
P5	Varianta 3 – dýzy – letní období	A3 (2xA4)
P6	Varianta 3 – dýzy – zimní období	A3 (2xA4)

Výkresy

V1	Půdorys 1.NP	1:100	A2 (4xA4)
V2	Půdorys 2.NP	1:100	A2 (4xA4)
V3	Půdorys a řezy strojovny	1:100	A2 (4xA4)
V4	Řezy	1:100	A2 (4xA4)
V5	Půdorys 2.NP - dýzy	1:100	A2 (4xA4)